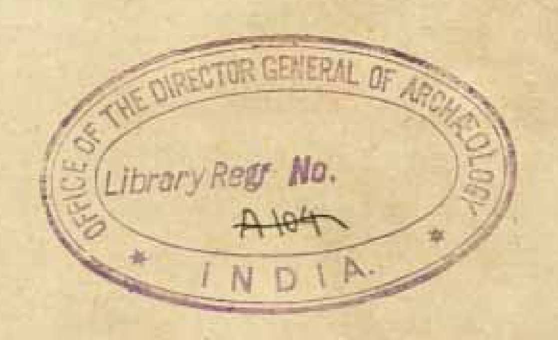
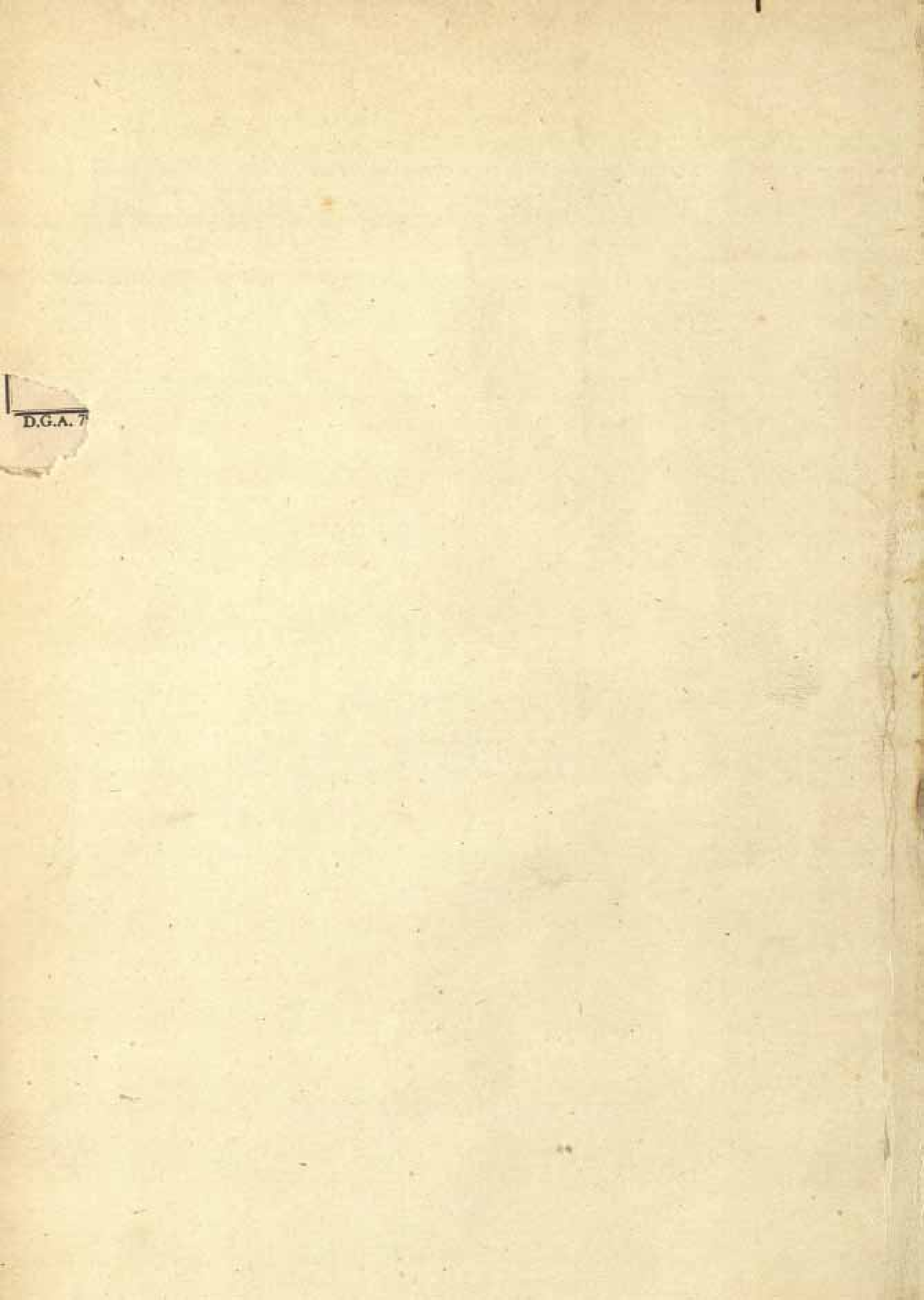




SITZUNGSBERICHTE

DER

KÖNIGLICH PREUSSISCHEN

AKADEMIE DER WISSENSCHAFTEN



JAHRGANG 1914

ZWEITER HALBBAND. JULI BIS DECEMBER

STÜCK XXVIII—XLVII MIT ZWEI TAFELN,
DEM VERZEICHNISS DER EINGEGANGENEN DRUCKSCHRIFTEN, NAMEN- UND SACHREGISTER



BERLIN 1914

VERLAG DER KÖNIGLICHEN AKADEMIE DER WISSENSCHAFTEN

IN COMMISSION BEI GEORG REIMER

INHALT.

Inhalt.

1914.
XXVIII.

SITZUNGSBERICHTE DER KÖNIGLICH PREUSSISCHEN AKADEMIE DER WISSENSCHAFTEN.

2. Juli. Öffentliche Sitzung zur Feier des Leibnizischen Jahrestages.

Vorsitzender Secretar: Hr. Diels.

Der Vorsitzende eröffnete die Sitzung, welcher der vorgeordnete Minister Exzellenz Dr. von Trott zu Solz, Ehrenmitglied der Akademie, beiwohnte, mit folgender Ansprache:

Zum ersten Male feiert die Akademie der Wissenschaften den Gedenktag ihres Gründers Leibniz in dem neuen stattlichen Raume, den die Munifizenz der Staatsbehörden unserer Körperschaft an ihrem alten Sitze errichtet und den Se. Majestät der Kaiser und König, unser erhabener Protektor, am 22. März dieses Jahres durch eine glänzende und eindrucksvolle Feier eingeweiht hat. Den Dank, der allen denen geschuldet wird, die mit Kopf und Hand an diesem schönen Werke mitgewirkt haben, hatte ich die Ehre, damals im Namen der Akademie aussprechen zu dürfen. Sie wiederholt ihn heute, wo sie es besonders freudig empfindet, nunmehr zum ersten Male in einem würdigen Raume vor erlesenen Gästen eine öffentliche Sitzung veranstalten zu können.

In der alten Akademie, deren kleiner Saal nach dem Hofe zu lag, wo sich der Königliche Marstall befand, geschah es wohl, daß der Festredner durch das Wiehern der Pferde unterbrochen wurde, und der Aufenthalt in dem engen und festverschlossenen Raume machte die Teilnahme an den Festsitzungen der Akademie oft zur Qual. Noch enger gestalteten sich die Verhältnisse in dem Zwischenheime in der Potsdamer Straße, so daß wir jetzt wahrhaft aufatmen, wenn wir uns in dem Prachtraume des neuen Palastes der Wissenschaften versammeln dürfen.

Es scheint der Bedeutung dieser Stunde zu entsprechen, wenn ich Sie bitte, hochverehrte Anwesende, mich auf einem kurzen Gange durch die Baugeschichte zu begleiten, damit Sie an der Freude, die unsere Körperschaft heute empfindet, Anteil nehmen und die neue Ära der Akademie, die sich hier eröffnet hat, mit ihr dankbar und hoffnungsvoll begrüßen können.

Versetzen Sie sich im Geiste um zweihundert Jahre zurück, und betreten Sie mit mir die älteste Stätte, welche der erste König Preußens auf das unablässige Treiben Leibnizens der »Sozietät der Wissenschaft«, wie man damals sagte, eingeräumt hatte. Der Eingang war auf der Nordseite dieses Akademieviertels in der Dorotheenstraße, da, wo jetzt vorläufig der Eingang zur Königlichen Bibliothek ist. Dort erhob sich in der Mitte der Königlichen Ställe, wo sich 200 Pferde und Maultiere tummelten, ein hoher Turm, das Observatorium, das hauptsächlich für die astronomischen Beobachtungen der Akademie bestimmt war. Die älteste Wissenschaft der Menschheit war auch für unsere Akademie zu Anfang die wichtigste Disziplin. Denn ihr lag mehr als hundert Jahre ob, den offiziellen preußischen Kalender herauszugeben und aus dieser Einnahmequelle vor allem die Kosten des Instituts zu decken. Wenige der heutigen Akademiker werden diesen Turm, das ehrwürdige Überbleibsel aus der ältesten Zeit unseres Instituts, noch im Innern gesehen haben. Mit einem gewissen andächtigen Schauer stieg man die knarrenden Eichentreppen empor und sah sich dort in einem mit Sternbildern und Astronomenbildnissen wundersam ausgemalten Gemache, in dem vom Staub der Jahrhunderte bedeckt die alten Schriften der Akademie aufgestapelt ruhten.

In diesem Raum nun versammelten sich am 15. Januar 1711 zum ersten Male die Berliner Akademiker zu gemeinsamer Arbeit, die freilich zu Anfang nur wenig erfolgreich sein konnte, da Leibniz aus der Ferne die Akademie regierte und der Mangel an ausreichenden Mitteln, nach Leibnizens und Friedrichs I. Tod auch das mangelnde Interesse des Hofes die gedeihliche Entwicklung des jungen Instituts hemmte.

Friedrich Wilhelm I. hatte kein inneres Verhältnis zur Wissenschaft, und seine Fürsorge erstreckte sich auf diesem Gebiete nur auf die Medizin, die ihm seines Heeres wegen wichtig erschien. So erbaute er im Jahre 1717 hier ein anatomisches Theater und gründete bald darauf das Collegium Medico-chirurgicum in Räumen, welche den nördlichen Trakt des Viertels nach der Universitätsstraße zu mit einem Eckbau abschlossen.

An der Lindenfront war schon früher gegen Ende des 17. Jahrhunderts ein einstöckiges Gebäude für den Marstall gebaut worden. 1696 ward dann diese Front durchgehends zweigeschossig gestaltet und der damals gestifteten Akademie der Künste zum Sitze angewiesen, den sie erst zu Anfang dieses Jahrhunderts verlassen hat.

Freilich unter dem eisernen Zepter des großen Soldatenkönigs waren beide Akademien dem Verfalle preisgegeben. Mühselig und armselig wurde bis zum Tode des Königs nur eben die Tradition aufrecht erhalten.

Inzwischen aber wandelte im Park zu Rheinsberg hoher Gedanken voll der geniale Prinz, der der Neugründer Preußens und der Preußischen Akademie werden sollte. In künstlerischen Gesprächen mit Knobelsdorff, in brieflicher Konversation mit Voltaire taucht immer deutlicher der Plan auf, das verfallene Institut zu neuem Glanze zu erheben, ja es zur ersten Akademie der Welt zu machen. Voltaire selbst sollte ihr Präsident werden, ein stattliches Gebäude sollte die preußische Wissenschaft auch äußerlich glänzend repräsentieren.

Kaum hatte Friedrich die Zügel der Regierung ergriffen, so gewannen diese Pläne festere Umrisse. Die Lindenallee, die damals noch keine Prachtstraße heißen durfte, sollte zu einem *Forum Fridericianum* ausgestaltet werden. Ein neues Opernhaus sollte entstehen; gegenüber an der Stelle, wo heute die Universität steht, sollte ein Palast für den jungen König sich erheben. Endlich der westlichen Seite des Opernhauses gegenüber, wo später die Bibliothek mit der Inschrift *Nutrimentum spiritus* gebaut wurde, da sollte, wie man neuerdings mit großer Wahrscheinlichkeit ermittelt hat, ein Prachtbau sich erheben für die Akademie. Der Schwung der gekrümmten Fassade dieses Projektes erinnert etwas an den späteren an dieser Stelle ausgeführten Bibliotheksbau, die sonstige Durchführung aber ähnelt dem Stile des Knobelsdorffschen Opernhauses. Dieses Opernhaus sollte, wie wir aus Algarottis Briefen wissen, die Inschrift tragen: Federicus Rex Apollini et Musis, das eigene Palais: Federicus Rex Sibi et Urbi, und die geplante Akademie sollte mit Anspielung auf die gleichsam aus der Verbannung zurückgerufene Göttin der Wissenschaft die Inschrift erhalten: Federicus Rex Minervae Reduci. Das Opernhaus mit der Inschrift steht noch heute am alten Platze, freilich durch Um- und Anbauten der alten Herrlichkeit zur Zeit beraubt. Wir hoffen, daß der ehrwürdige Bau bald wieder in seiner alten Schönheit erstrahlen wird, wenn auch Apollo und den Musen in etwas anderer Weise darin wird gehuldigt werden.

Von den übrigen Plänen ward leider nichts ausgeführt. Der schlesische Krieg und der Bruch mit Knobelsdorff kam dazwischen. Doch hat uns die Vignette zum Eloge de Jordan, das in den Œuvres du philosophe de Sanssouci 1750 erschienen ist, das Bild des geplanten Akademiegebäudes erhalten. Auf dem vorspringenden Giebel in der Mitte liest man die Anfangsbuchstaben Acad. Wir verdanken diese Radierung dem Kupferstecher Georg Friedrich Schmidt, dem Schützling Knobelsdorffs, der diesen Plan vermutlich von ihm selbst erhalten hat.

Ein äußeres Ereignis gab den Anstoß zur wirklichen Ausführung der Baupläne, freilich in anderer Weise, als es sich der König früher

gedacht hatte. Das Vordergebäude des Akademieviertels Unter den Linden war in der Nacht vom 20. zum 21. August 1743 ein Raub der Flammen geworden. Nun erhielt der holländische Architekt Boumann der Ältere den Auftrag, ein neues Gebäude für die beiden Akademien auf den Trümmern zu errichten. Der Bau zog sich lange hin, so daß der König und die Akademie ungehalten wurden. Erst nach sechs Jahren im Herbst 1749 ward das neue Haus der Kunst und Wissenschaft fertig gestellt. Heutzutage wird man dem Künstler daraus keinen Vorwurf machen, da wir selbst nun an unserm Neubau erfahren haben: Gut Ding will Weile haben.

Das zweistöckige Gebäude Boumanns ward zwischen den beiden Akademien so verteilt, daß die östliche Hälfte den Künsten, die westliche der Wissenschaft zugeteilt wurde. Der holländische Architekt entwarf die Fassade in ziemlich einfachen Formen, die an den von demselben errichteten Palast des Prinzen Heinrich, das jetzige Universitätsgebäude, erinnern. Reicher dekoriert ward nur der Mittelpavillon, dessen Attika von paarweise angeordneten Hermen getragen wurde. Auf der Attika selbst ward der Parnaß dargestellt. Oben saß Apollo mit der Leier, um ihn herum die neun Musen. Außerdem waren oben noch Allegorien der Malerei, der Natur, der Historie und seltsamerweise der Hieroglyphik dargestellt. Noch während des Baues begrüßt der König die neu erstehende Akademie mit seiner berühmten Ode Le renouvellement de l'Académie des Sciences, die er mit einem zierlichen Begleitgedicht ihrem Präsidenten Maupertuis übersandte. Es heißt da in der älteren Fassung:

> Wo Rohheit ließ vordem in Staub zerfallen
> Des alten Baues trümmerhaft Gestein,
> Da will ich neue, schönre Tempelhallen
> Dem Kult Apollons und der Wahrheit weihn.

Er spielt im letzten Verse auf die Giebelfiguren an, die trotz aller sonstigen Veränderungen sich bis zur Niederlegung des Gebäudes in ihrem luftigen Sitze behauptet hatten. Auch heute noch sind sie größtenteils erhalten. Nur sind die Götter auf die Erde herabgestiegen. Apollo steht in der Hochschule für die bildenden Künste, und die Musen haben in dem Ehrenhof dieses Gebäudes auf den Balustraden rechts und links ihren Platz gefunden. Dies ist das einzige, was von dem Bau Friedrichs übriggeblieben ist.

Nachdem die Akademie der Wissenschaften im Jahre 1752 durch eine feierliche Einweihung von den neuen Räumen Besitz ergriffen, begann nun wirklich alsbald hier ein neues und für die Wissenschaft vielfach fruchtbringendes Leben. Der Ruhm der von dem König aus allen

Ländern berufenen Gelehrten, der Glanz, den die Teilnahme des Königs an den Arbeiten der erneuten Akademie verlieh, strahlte auf das ganze gebildete Europa aus und trug nicht wenig dazu bei, Preußens Stellung in den Augen der Zeitgenossen zu heben. Man sah, daß dieser Emporkömmling nicht nur durch die physische Kraft seines wohlgeschulten Heeres, sondern auch durch die geistigen Waffen seiner Akademie die Ansprüche des neuen Staates aufrecht zu erhalten und zu wahren gewillt und imstande sei.

Nach der Friderizianischen Glanzzeit brachen minder erfreuliche Tage über die Akademie herein. Unter den Napoleonischen Drangsalen hatte auch unser Institut schwer zu leiden. Aber der neue Geist, den der ungeheure Druck der Zeit in den besten Köpfen erweckt hatte, rief nach Reformen im Innern wie im Äußern. Immer unerträglicher ward damals die Symbiose mit den heterogenen Insassen des Marstalls empfunden, und die Regierung sicherte bereits im Anfang des vorigen Jahrhunderts den Akademikern zu, das ganze Viertel zu einem Zentralinstitute für Kunst und Wissenschaft auszubauen. Im Schinkelmuseum werden mehrere Pläne aufbewahrt, von denen einer fünf Akademien zu bauen vorschlägt, nämlich außer den beiden alten Akademien noch eine Bauakademie, eine Singakademie und eine Anatomie. Schinkel selbst entwarf 1822 einen ähnlichen Plan, in dem statt der Bau- und Singakademie ein Museum vorgesehen war.

In Wirklichkeit kam nichts von diesen großartigen Plänen zur Ausführung. Man begnügte sich 1815, durch den Bauinspektor Rabe die nicht mehr zeitgemäßen Formen des Rokokobaues an der Front zu beseitigen und im Innern einen bequemen Aufgang zu schaffen. Aus dem Erdgeschoß wurden zwar die Stallungen entfernt und Gipse statt der Rosse dort eingestellt, aber der hinter der Front sich dehnende Marstall und die Kaserne der Gardedukorps hat noch fast hundert Jahre hindurch zum Leidwesen der Akademie fortbestanden. Auch ein teilweiser Erweiterungsbau des Jahres 1836 hat daran nichts geändert. Diese auf die Dauer unerträglichen Zustände und der immer drückender werdende Raummangel reiften allmählich den Plan, ein neues, geräumiges Gebäude an der alten Stelle zu errichten. Da gleichzeitig auch der Neubau der Königlichen Bibliothek und die Erweiterung der Universität in Fluß kam, konnte endlich im letzten Jahre des abgelaufenen Jahrhunderts der definitive Plan entworfen werden, durch den die beiden schon im 18. Jahrhundert zeitweilig eng miteinander verbundenen Institute, die Königliche Bibliothek und die Königliche Akademie der Wissenschaften, unter einem Dache vereinigt wurden. Es war ein schöner Gedanke, hier im Mittelpunkt von Berlin, an dem glänzenden Kaiserforum diese beiden Hauptwerkstätten der geistigen Arbeit neben der Universität anzusiedeln

und durch diesen Dreiverein gelehrter Institute die Bedeutung der Wissenschaft in der Hauptstadt Deutschlands auch äußerlich hervorzuheben. Allein diese Verbindung hat doch für die bauliche Einrichtung einige Übelstände mit sich gebracht, die heute in unsern Freudenbecher einige Wermutstropfen fallen lassen. Es war vielleicht unabänderlich, aber jedenfalls schmerzlich, daß die Akademie, deren Bau auf die Fertigstellung der übrigen Gebäulichkeiten warten mußte, über zehn Jahre würdiger Arbeits- und Festräume entbehren mußte. Es war ferner durch die Vereinigung der verschiedenen Institute unter einem Dache nicht möglich, den ganzen Bau, von dem die Akademie nur etwa den zehnten Teil einnimmt, einen deutlich akademischen Charakter aufzuprägen. Die originellen Forschertypen, die sich in der Höhe des zweiten Stockwerks auf den Risaliten um das ganze mächtige Viertel herumziehen und dem Bau einen malerischen Reiz sichern, sind, wie der Bauplan es besagt, Verkörperungen der berühmtesten Bibliotheken, Universitäten und technischen Hochschulen des In- und Auslandes. Dieser Schmuck hat gar keine Beziehung zur Akademie. Nur auf der Vorderfront nach den Linden deuten die Allegorien verschiedener Wissenschaften, der Theologie und Jurisprudenz, Astronomie und Geschichte, Philosophie und Naturwissenschaft, endlich an der Ecke nach der Charlottenstraße hin, der Landwirtschaft und Technik auf gemeinsame Beziehungen der Bibliothek und Akademie. Aber diese Allegorien wie das Giebelfeld, das die Huldigung der Technik und der Kunst vor Athene, der Vertreterin der Wissenschaft, darstellt, werden nur durch einen gelehrten Kommentar dem Beschauer deutlich werden.

Den einzigen unmittelbar verständlichen und vornehmlich unserer Akademie geltenden Schmuck des Neubaus bilden die unter dem Haupteingang Unter den Linden angebrachten Medaillons der drei Herrscher, denen die Akademie am meisten verpflichtet ist, da sie nacheinander ihr an diesem Ehrenplatze Berlins neue Sitze bereitet haben: zur Rechten Friedrich I., der den Grund legte, zur Linken Friedrich der Grosse, der Erneuerer, der die Lindenfront zufügte, und in der Mitte Wilhelm II., der Schirmherr der Wissenschaft, der die von ihm unternommene Erweiterung und Stärkung der Akademie nach innen und außen durch die Errichtung dieses Prachtbaues gekrönt hat.

Als unsere verehrten Festgäste heute dieses dem Andenken der Hohenzollernkönige gewidmete dreifache Portal durchschritten hatten, werden sie sich vielleicht gewundert haben, daß sie nicht unmittelbar zu den stattlichen Räumen unserer Akademie zur Rechten sich wenden, sondern in die Bibliothek zur Linken eintreten und dort durch zwei schmale Pforten auf einer Nebentreppe etwas mühsam zur Höhe dieses Festsaales emporsteigen mußten. Vielleicht hätte sich dieser

Aufgang etwas bequemer gestalten lassen, und wir hoffen, daß ein Umbau darin noch Wandel schaffen wird, aber die Notwendigkeit dieser Anlage war leider durch die Rücksicht auf die Bedürfnisse des Nachbarinstituts gegeben. Sonst wäre es ästhetisch schöner und mit Rücksicht auf die stets wachsenden Bedürfnisse der Akademie, die schon jetzt den Bau bis in den letzten Raum ausfüllen, vielleicht auch nützlicher gewesen, die ganze Lindenfront der Akademie zu überweisen und hier einen bequemeren Aufgang zu schaffen. Aber die Akademie ist von jeher gewöhnt, den Nachdruck nicht auf äußere Repräsentation, sondern auf innere Leistungsfähigkeit zu legen. Sie erinnert sich gern des Wortes Friedrichs des Grossen, die Akademie sei nicht zur Parade, sondern zur Instruktion da.

Aber gerade aus diesem Grunde bedauert sie auf das schmerzlichste, daß ein altes Wahrzeichen der Akademie, das über hundert Jahre zur Instruktion des Berliner Publikums gedient und ihm deutlich den Zusammenhang der Wissenschaft mit dem täglichen Leben vor Augen führte, in diesem Neubau trotz des ausdrücklichen Wunsches der Akademie keine Stätte mehr hat finden sollen. Ich meine die alte Akademieuhr. Ein älteres Mitglied unseres Kreises hat vor längerer Zeit, als wir uns noch jenes alten Inventarstückes erfreuen durften, in seine Antrittsrede eine hübsche Jugenderinnerung eingeflochten, wie ihm in seiner Kindheit unter Friedrich Wilhelm IV. der Begriff unserer Akademie an dieser Uhr aufging. »Der Knabe«, so erzählte er, »aufgewachsen in ländlicher Abgeschiedenheit, in die kaum je ein Hauch von gelehrtem Wesen drang, war einmal in die Hauptstadt mitgenommen und schritt staunend die Linden entlang. Plötzlich blieb sein Begleiter stehen und stellte seine Uhr. Dabei wies er auf die Uhr über unserer Tür und erklärte, diese ginge allein immer richtig, weil sie die gelehrten Leute beaufsichtigten, die allein die wahre Zeit kennten, die Herren von der Akademie.«

Heutzutage, wo die Normaluhr dank den Bemühungen von Wilhelm Förster durch die ganze Stadt hin verbreitet ist, wird die Wohltat einer solchen Zeitregulierung nicht mehr so deutlich empfunden. Aber am Ende des 18. Jahrhunderts, als der kunstgeübte Uhrmacher Möllinger im Auftrage der Akademie seine astronomische Uhr, die anfänglich mit Doppelzeigern für die wahre und die mittlere Sonnenzeit versehen war, in dem sogenannten Uhrsaal der alten Akademie aufstellte, war das ein kulturhistorisches Ereignis ersten Ranges. Der damalige Kurator der Akademie, Graf Hertzberg, erließ im Oktober 1787 bald nach der Aufstellung der Uhr ein Schreiben an den Magistrat und die Kirchenbehörden und forderte sie auf, die öffentlichen und Kirchenuhren nunmehr nach der Akademieuhr zu richten, damit

die ärgerlichen Differenzen der Stadtuhren endlich ein Ende nähmen. Die Behörden beeilten sich dem Wunsche nachzukommen, und so erhielt die Akademie damals durch ihre Uhr eine Popularität in der Berliner Bevölkerung, die sich bis zum Ende des vorigen Jahrhunderts erhielt, die aber seitdem mit der Uhr verschwunden scheint. Jeder Droschkenkutscher wußte früher, wo die Akademie zu finden sei. Heute ist die Existenz dieses Instituts fast zur Sage geworden. Wenigstens kommt man auf solche Gedanken, wenn man sieht, was z. B. die gelesensten Tageblätter und illustrierten Zeitungen über die »Einweihung der Königlichen Bibliothek« am 22. März d. J. zu berichten wußten.

An die Akademieuhr, deren Verschwinden den alten Akademikern so nahegeht, knüpft sich übrigens auch ein weiteres Interesse an, insofern die Uhr, als das Erzeugnis wissenschaftlich erzogener Technik, mit dem Ursprung der ersten Akademie in eigentümlicher Weise ververknüpft ist. Der große Platon, der die erste wissenschaftliche Vereinigung von Gelehrten in seinem akademischen Garten versammelte, gilt nach einer nicht unglaubwürdigen Nachricht auch als der Erfinder der ersten mechanischen Uhr, durch die er den akademischen Genossen zu einer bestimmten Zeit des frühen Morgens ein Signal mit einer Orgelpfeife zur Aufnahme der gemeinsamen Arbeit erteilte. So verknüpft sich das Andenken an diese Erfindung mit der ersten Einrichtung einer Akademie, die im hellenistischen Griechenland und später bei den Arabern, dann seit der Renaissance auch bei uns Nachahmung gefunden hat. Die größte Akademie der Kalifenzeit, die Mastansir Billâh im Jahre 1234 in Bagdad errichtete, besaß als schönsten Schmuck eine astronomische Uhr, die uns ein zeitgenössischer Chronist als Weltwunder beschreibt.

Wie die Ptolemäer und später die Kalifen die Wissenschaften gepflegt und Akademien mit umfassenden Einrichtungen und Stiftungen königlich ausgestattet haben, so ist unser Ruhm, daß vom Großen Kurfürsten an fast alle Könige Preußens tiefstes Verständnis für die Bestrebungen der Wissenschaft gezeigt und unserer Akademie von ihrem Beginn bis jetzt reichste Förderung haben zuteil werden lassen. Darum setzt unsre Akademie ihren Stolz darein, sich eine Königlich Preußische nennen zu dürfen, darum hat mit Recht der Künstler, der diesen Festsaal schmückte, den preußischen Adler in der Mitte der Vorder- und Hinterwand angebracht. Er gibt dadurch dem Gefühle innigster Dankbarkeit Ausdruck, das auch Leibniz, unsern Heros Eponymos, beseelte, als er das Wappen und die Devise für die Akademie wählte, die Sie in dem Mittelbild der Decke in modernisierter Gestalt erblicken. Leibniz hatte nämlich den Hohenzollernaar im Fluge zu dem Sternbild Adler als Wappen erkoren und den Spruch hinzugefügt: »Er strebt

zu verwandten Gestirnen.« Das ist denn auch stets unser Wahlspruch geblieben, wie der des Preußischen Staates. Beide haben sich das höchste Ziel gesetzt und ihm mit Anstrengung aller Kräfte näherzukommen gesucht. Wie Preußens Volk im friedlichen Wettbewerb mit den übrigen deutschen Stämmen und den ausländischen Nationen nach den höchsten Kränzen menschlicher Kultur strebt, so ist es der Ehrgeiz der Preußischen Akademie, in der Wissenschaft hinter keinem Schwesterinstitute des Inlands und Auslands zurückzubleiben. Ihre von Leibniz uns bei der Gründung gegebene Organisation, die alle fruchtbringenden Zweige der Gesamtwissenschaft in einer geistigen Kraftzentrale vereinigt, hat sich in der zweihundertjährigen Entwicklung unserer Akademie bewährt und weithin auf Deutschland und das Ausland vorbildlich gewirkt. Der neuerdings hinzugekommene Großbetrieb der Wissenschaft, der die regsamen Hände des Instituts vervielfacht und seine Leistungsfähigkeit erheblich steigert, wird sich nun erst in den erweiterten Räumen voll entfalten können. So hofft denn die Akademie zuversichtlich in dem neuen Gebäude mit neuer Kraft ihren Adlerflug fortsetzen und dem Ziele näherzukommen, das der Stifter uns vor Augen stellte:

Cognata ad sidera tendit.

Es folgten die Antrittsreden der seit der Leibniz-Sitzung 1913 neu eingetretenen Mitglieder der Akademie.

Antrittsreden und Erwiderungen.

Antrittsrede des Hrn. Einstein.

Hochgeehrte Kollegen!

Nehmen Sie zuerst meinen tiefgefühlten Dank dafür entgegen, daß Sie mir die größte Wohltat erwiesen haben, die einem Menschen meiner Art erwiesen werden kann. Sie haben es mir durch die Berufung an Ihre Akademie ermöglicht, mich frei von den Aufregungen und Sorgen eines praktischen Berufes ganz den wissenschaftlichen Studien zu widmen. Ich bitte Sie, von meinem Gefühl der Dankbarkeit und von der Emsigkeit meines Strebens auch dann überzeugt zu sein, wenn Ihnen die Früchte meiner Bemühungen als ärmliche erscheinen werden.

Gestatten Sie mir im Anschluß hieran einige allgemeine Bemerkungen über die Stellung, welche mein Arbeitsgebiet, die theoretische Physik, der experimentellen Physik gegenüber einnimmt. Ein befreundeter Mathematiker sagte mir neulich halb scherzhaft: »Der Mathema-

tiker kann schon etwas, aber freilich gerade dasjenige nicht, was man jeweilen von ihm haben will.« Ganz ähnlich verhält es sich oft mit dem theoretischen Physiker, der vom Experimentalphysiker zu Rate gezogen wird. Woher rührt dieser eigentümliche Mangel an Anpassungsfähigkeit?

Die Methode des Theoretikers bringt es mit sich, daß er als Fundament allgemeine Voraussetzungen, sogenannte Prinzipe, benutzt, aus denen er Folgerungen deduzieren kann. Seine Tätigkeit zerfällt also in zwei Teile. Er hat erstens jene Prinzipe aufzusuchen, zweitens die aus den Prinzipen fließenden Folgerungen zu entwickeln. Für die Erfüllung der zweiten der genannten Aufgaben erhält er auf der Schule ein treffliches Rüstzeug. Wenn also die erste seiner Aufgaben auf einem Gebiete bzw. für einen Komplex von Zusammenhängen bereits gelöst ist, wird ihm bei hinreichendem Fleiß und Verstand der Erfolg nicht fehlen. Die erste der genannten Aufgaben, nämlich jene, die Prinzipe aufzustellen, welche der Deduktion als Basis dienen sollen, ist von ganz anderer Art. Hier gibt es keine erlernbare, systematisch anwendbare Methode, die zum Ziele führt. Der Forscher muß vielmehr der Natur jene allgemeinen Prinzipe gleichsam ablauschen, indem er an größeren Komplexen von Erfahrungstatsachen gewisse allgemeine Züge erschaut, die sich scharf formulieren lassen.

Ist diese Formulierung einmal gelungen, so setzt eine Entwicklung der Folgerungen ein, die oft ungeahnte Zusammenhänge liefert, die über das Tatsachengebiet, an dem die Prinzipe gewonnen sind, weit hinausreichen. Solange aber die Prinzipe, die der Deduktion als Basis dienen können, nicht gefunden sind, nützt dem Theoretiker die einzelne Erfahrungstatsache zunächst nichts; ja er vermag dann nicht einmal mit einzelnen empirisch ermittelten allgemeineren Gesetzmäßigkeiten etwas anzufangen. Er muß vielmehr im Zustande der Hilflosigkeit den Einzelresultaten der empirischen Forschung gegenüber verharren, bis sich ihm Prinzipe erschlossen haben, die er zur Basis deduktiver Entwicklungen machen kann.

In einer derartigen Lage befindet sich die Theorie gegenwärtig gegenüber den Gesetzen der Wärmestrahlung und Molekularbewegung bei tiefen Temperaturen. Vor etwa fünfzehn Jahren zweifelte man noch nicht daran, daß auf der Grundlage der auf die Molekülbewegungen angewendeten Galilei-Newtonschen Mechanik und der Maxwellschen Theorie des elektromagnetischen Feldes eine richtige Darstellung der elektrischen, optischen und thermischen Eigenschaften der Körper möglich sei. Da zeigte Planck, daß man zur Aufstellung eines mit der Erfahrung übereinstimmenden Gesetzes der Wärmestrahlung sich einer Methode des Rechnens bedienen muß, deren Unvereinbar-

keit mit den Prinzipen der klassischen Mechanik immer deutlicher wurde. Mit dieser Rechenmethode führte PLANCK nämlich die sogenannte Quantenhypothese in die Physik ein, die seitdem glänzende Bestätigungen erfahren hat. Mit dieser Quantenhypothese stürzte er die klassische Mechanik für den Fall, daß genügend kleine Massen mit hinreichend kleinen Geschwindigkeiten und genügend großen Beschleunigungen bewegt sind, so daß wir heute die von GALILEI und NEWTON aufgestellten Bewegungsgesetze nur mehr als Grenzgesetze gelten lassen können. Aber trotz emsigster Bemühungen der Theoretiker gelang es bisher nicht, die Prinzipe der Mechanik durch solche zu ersetzen, welche PLANCKS Gesetz der Wärmestrahlung bzw. der Quantenhypothese entsprechen. So unzweifelhaft auch erwiesen ist, daß wir die Wärme auf Molekularbewegung zurückzuführen haben, müssen wir heute doch gestehen, daß wir den Grundgesetzen dieser Bewegung ähnlich gegenüberstehen wie die Astronomen vor NEWTON den Bewegungen der Planeten.

Ich habe soeben auf einen Tatsachenkomplex hingewiesen, für dessen theoretische Behandlung die Prinzipe fehlen. Es kann aber ebensogut der Fall eintreten, daß klar formulierte Prinzipe zu Konsequenzen führen, die ganz oder fast ganz aus dem Rahmen des gegenwärtig unserer Erfahrung zugänglichen Tatsachenbereiches herausfallen. In diesem Falle kann es langwieriger empirischer Forschungsarbeit bedürfen, um zu erfahren, ob die Prinzipe der Theorie der Wirklichkeit entsprechen. Dieser Fall bietet sich uns dar bei der Relativitätstheorie.

Eine Analyse der zeitlichen und räumlichen Grundbegriffe hat uns gezeigt, daß der aus der Optik bewegter Körper sich ergebende Satz von der Konstanz der Vakuumlichtgeschwindigkeit uns keineswegs zu der Theorie eines ruhenden Lichtäthers zwingt. Es ließ sich vielmehr eine allgemeine Theorie aufstellen, die dem Umstande Rechnung trägt, daß wir von der Translationsbewegung der Erde bei auf der Erde ausgeführten Versuchen niemals etwas merken. Dabei wird von dem Relativitätsprinzip Gebrauch gemacht, welches lautet: die Naturgesetze ändern ihre Form nicht, wenn man von dem ursprünglichen (berechtigten) Koordinatensystem zu einem neuen, relativ zu ihm in gleichförmiger Translationsbewegung begriffenen übergeht. Diese Theorie hat nennenswerte Bestätigungen durch die Erfahrung erhalten und hat zu einer Vereinfachung der theoretischen Darstellung bereits in Zusammenhang gebrachter Tatsachenkomplexe geführt.

Anderseits aber gewährt diese Theorie vom theoretischen Gesichtspunkte aus nicht die volle Befriedigung, weil das vorhin formulierte Relativitätsprinzip die *gleichförmige* Bewegung bevorzugt. Wenn

es nämlich wahr ist, daß der gleichförmigen Bewegung vom physikalischen Standpunkte aus eine absolute Bedeutung nicht zugeschrieben werden darf, so liegt die Frage auf der Hand, ob diese Aussage nicht auch auf ungleichförmige Bewegungen auszudehnen sei. Es zeigte sich, daß man zu einer ganz bestimmten Erweiterung der Relativitätstheorie gelangt, wenn man ein Relativitätsprinzip in diesem erweiterten Sinne zugrunde legt. Man wird dabei zu einer allgemeinen, die Dynamik einschließenden Theorie der Gravitation geführt. Es fehlt aber vorläufig das Tatsachenmaterial, an dem wir die Berechtigung der Einführung des zugrunde gelegten Prinzips prüfen könnten.

Wir haben festgestellt, daß die induktive Physik an die deduktive und die deduktive an die induktive Fragen stellt, deren Beantwortung die Anspannung aller Kräfte erfordert. Möge es bald gelingen, durch vereinte Arbeit zu endgültigen Fortschritten vorzudringen!

Erwiderung des Sekretars Hrn. Planck.

Sie haben, Hr. Kollege Einstein, durch Ihre Antrittsworte mir die Aufgabe wesentlich erleichtert, eine Begründung dafür zu geben, daß die Akademie das Zusammentreffen mehrerer außerordentlich glücklicher und außerordentlich dankenswerter Umstände gern benutzt hat, um Sie in ihren Kreis zu ziehen. Denn ich habe dem von Ihnen Gesagten nur noch das eine ergänzend hinzuzufügen, daß Sie, wie Ihre Arbeiten gezeigt haben, das Programm des theoretischen Physikers nicht bloß zu formulieren, sondern auch durchzuführen verstehen. Beide Seiten der von Ihnen geschilderten Tätigkeit, die schöpferische sowohl wie die deduktive, sind für den Fortschritt der Wissenschaft notwendig, beide müssen sich, auch in dem einzelnen Forscher, ergänzen, beiden ist auch die Wirksamkeit unserer Akademie gewidmet, und zwar nicht nur in der Physik, sondern, mehr oder weniger ausgesprochen, in jeder der durch sie vertretenen Wissenschaften.

Aber trotz dieser gleichmäßigen Unentbehrlichkeit der beiden Arbeitsmethoden ist es doch nur menschlich und natürlich, daß den Einzelnen Begabung und Neigung zur Bevorzugung der einen vor der anderen führen, und wenn Sie sich über diesen Punkt auch nicht ausdrücklich verbreitet haben, so kenne ich Sie doch gut genug, um die Behauptung wagen zu dürfen, daß Ihre eigentliche Liebe derjenigen Arbeitsrichtung gehört, in welcher die Persönlichkeit sich am freiesten entfaltet, in der die Einbildungskraft ihr reichstes Spiel treibt und der Forscher sich am ersten dem behaglichen Gefühl hingeben kann, daß er nicht so leicht durch einen anderen zu ersetzen ist. Freilich droht ihm dabei auch am ehesten die Gefahr, sich gelegentlich in

allzu dunkle Gebiete zu verlieren und plötzlich unversehens auf harten Widerspruch zu stoßen, sei es von seiten der Theoretiker oder, was schlimmer ist, von seiten der Experimentatoren. Aber gerade in solchem Kampf wird die Wissenschaft am besten gefördert, und man darf für diese Art von Kräften gewiß das Schillersche Wort variieren: »Großes wirket ihr Bund, Größeres wirket ihr Streit.«

So werden Sie es mir auch heute sicherlich nicht verargen, wenn ich, im vollen Bewußtsein des vielen, was uns eint, einen Augenblick bei solchen Punkten verweile, in welchen unsere Ansichten sich trennen. Zwar will ich nicht mit Ihnen rechten über die Art des Unterschieds, den Sie machen zwischen einer Rechenmethode und einem Prinzip, insbesondere darüber, wie es möglich ist, daß ein Prinzip durch eine Rechenmethode gestürzt werden kann; denn es würde sich da schließlich doch nur um Worte handeln, da wir uns sachlich ganz gewiß ohne weiteres restlos verständigen würden.

Aber in einem anderen, wichtigeren Punkte kann ich doch der Versuchung nicht widerstehen, meinen Einspruch anzumelden. Wenn Sie das Prinzip der Relativität in der zuerst von Ihnen formulierten Fassung aus dem Grunde nicht voll befriedigend nennen, weil es unter den verschiedenen Arten von Bewegungen die gleichförmige Bewegung bevorzugt, so könnte man, wie ich meine, ebensogut auch umgekehrter Ansicht sein und gerade in der Bevorzugung der gleichförmigen Bewegung ein besonders wichtiges und wertvolles Merkmal der Theorie, in der Durchführung dieser Auffassung einen besonderen Fortschritt der Wissenschaft erblicken. Denn die Naturgesetze, nach denen wir suchen, stellen doch stets gewisse Beschränkungen dar, nämlich eine gewisse spezielle Auswahl aus dem unendlich mannigfaltigen Bereich der überhaupt denkbaren logisch widerspruchsfreien Beziehungen.

Oder wollen wir etwa das Newtonsche Attraktionsgesetz deshalb unbefriedigend finden, weil darin gerade die Potenz 2 eine bevorzugte Rolle spielt? Wir sehen doch vielmehr in diesem Umstand eine natürliche Folge der Dreidimensionalität unseres Raumes, die wir als eine gegebene Tatsache hinnehmen, ohne uns, als vernünftige Physiker, weiter darüber zu beunruhigen, warum der Raum nicht vier oder noch mehr Dimensionen besitzt. Ähnlich könnten wir vielleicht die Bevorzugung der gleichförmigen Bewegung in engen Zusammenhang bringen mit dem besonderen Vorrecht, welches die gerade Linie unter allen räumlichen Linien nun einmal tatsächlich auszeichnet.

Es kommt hinzu, daß auch in Ihrem verallgemeinerten Relativitätsprinzip die Bedingung für die Berechtigung eines Koordinatensystems nur weiter gefaßt, nicht aber ganz aufgehoben wird; denn daß nicht alle beliebigen Koordinatensysteme berechtigt sein können, haben

Sie selber erst kürzlich bewiesen. Eine Grenze für die Berechtigung muß also in jedem Falle konstatiert werden; es fragt sich nur, ob dieselbe enger oder weiter zu ziehen ist.

Doch bei alledem: Sie wissen so gut wie ich, verehrter Hr. Kollege, daß es sich bei diesen Meinungsverschiedenheiten nicht um Gegensätze der Erkenntnis, sondern um Gegensätze der Erwartung handelt, mit der wir der Beantwortung einer an die Natur gestellten Frage entgegensehen. Und nicht darin, wie die Antwort ausfallen wird, sondern darin, daß überhaupt eine vollständige Beantwortung, früher oder später, in sicherer Aussicht steht, liegt die hohe, niemals anfechtbare Bedeutung der von Ihnen entwickelten Theorie begründet. Hoffen wir, daß schon die am 21. August d. J. bevorstehende Sonnenfinsternis, an deren Erforschung sich auch unsere Akademie durch Bewilligung besonderer Mittel beteiligt hat, die nach dieser Richtung in sie gesetzten Erwartungen rechtfertigt. Wie dann auch das Ergebnis sein wird, in jedem Falle stehen wir vor einer wertvollen Bereicherung unserer Wissenschaft, in welcher sich, wie wir nicht ohne einen gewissen Stolz sagen dürfen, leichter als in anderen Wissenschaften die schärfsten sachlichen Gegensätze in persönlicher Hochschätzung und in herzlich freundschaftlicher Gesinnung austragen lassen. Daß dies sich auch im vorliegenden Falle bewahrheiten wird, das lassen Sie mich zum Schluß nicht nur als frommen Wunsch, sondern als erfreuliche, aus vielfacher Erfahrung geschöpfte Gewißheit aussprechen!

Antrittsrede des Hrn. Hintze.

Wenn die Königliche Akademie der Wissenschaften mir die Ehre erwiesen hat, mich unter die Zahl ihrer Mitglieder aufzunehmen, so ist sie dabei wohl von der Ansicht geleitet gewesen, daß ich als langjähriger Mitarbeiter an den Acta Borussica, seit einigen Jahren auch schon durch ihr Vertrauen in die mit der Leitung dieser Publikation beauftragte Kommission berufen, auch künftighin in der Lage sein werde, ihr bei diesem großen Werke ersprießliche Dienste zu leisten. Ich hoffe diese Erwartung um so eher rechtfertigen zu können, als die mit jener Publikation verbundenen Studien seit langer Zeit im Mittelpunkt meiner wissenschaftlichen Interessen stehen.

Durch historisch-philologische und juristisch-staatswissenschaftliche Studien vorgebildet, zuletzt noch besonders beeinflußt durch die lebensvolle Auffassung der Verwaltungs- und Wirtschaftsgeschichte, wie sie Gustav Schmoller vertrat, stellte ich mich 1888 in den Dienst der Acta Borussica und bearbeitete zunächst die Geschichte der Begründung der Seidenindustrie durch Friedrich den Grossen, als ein typisches Bei-

spiel merkantilistischer Gewerbepolitik, wofür ein überreiches, zum Teil schon von Schmoller gesammeltes Material vorlag; dann die Akten der Behördenorganisation und der inneren Verwaltung des preußischen Staates vom Regierungsantritt Friedrichs II. bis zum siebenjährigen Kriege — eine Publikation, die neben den neuen Kundgebungen des aufgeklärten Absolutismus namentlich die administrative Organisation der neuerworbenen Provinzen, die tiefgreifende Justizreform des Großkanzlers Cocceji, die erneuerte Instruktion für das Generaldirektorium und die Provinzialkammern enthält und in der zusammenfassenden Darstellung der Regierungsgrundsätze des Großen Königs gipfelt, die er in seinem Politischen Testament von 1752 niedergelegt hat. In einem einleitenden Bande versuchte ich durch einen Querschnitt den Zustand der Verfassung und Verwaltung des preußischen Staates um das Jahr 1740 zu eingehender, übersichtlicher Darstellung zu bringen; dabei ergab sich als ein besonders fruchtbarer und bis dahin noch wenig angewandter Gesichtspunkt die Unterscheidung des landschaftlich-territorialen und des großstaatlichen Typus in den Organen und Institutionen, die unmittelbar in den Kern des Problems der Entstehung des Absolutismus und seiner Schöpfung, des modernen militärischen Großstaats führt.

Teils die Voraussetzung, teils auch die Frucht dieser Studien war eine umfassende, sich stetig vertiefende Kenntnis der gesamten brandenburgisch-preußischen Verfassungs- und Verwaltungsgeschichte, die bis zu der Epoche der Kolonisation zurückreichen und in die Gegenwart hinüberführen mußte. Aber auch die eigentlich politische Geschichte durfte nicht vernachlässigt werden; tritt doch gerade beim preußischen Staat die Bedingtheit der inneren Einrichtungen durch die Aufgaben, die aus der politischen Weltlage entspringen, besonders deutlich und greifbar hervor. Die Verhältnisse brachten es auch mit sich, daß ich 15 Jahre hindurch die Fachzeitschrift für preußische Geschichte zu leiten hatte und an den Arbeiten des Vereins für Geschichte der Mark Brandenburg, der nach Art einer historischen Kommission auf dem Gebiete der provinziellen, aber zugleich auch der allgemeinen Staatsgeschichte tätig ist, einen nicht unbedeutenden Anteil nahm.

Dennoch möchte ich die preußische Geschichte nicht als mein eigentliches wissenschaftliches Fach bezeichnen, wie sie auch nicht den Gegenstand meines Lehrauftrags an der Universität bildet; es entsprang mehr einem äußeren Anlaß und Anforderungen, denen ich mich nicht entziehen zu dürfen glaubte, als dem eigentlichen Plan meiner wissenschaftlichen Lebensaufgabe, wenn ich in den letzten Jahren an einer kurz zusammengefaßten Preußischen Geschichte gearbeitet habe, die zu dem Hohenzollernjubiläum des Jahres 1915 erscheinen soll.

Das eigentliche Ziel, das mir bei meinen wissenschaftlichen Bemühungen vorschwebte, war von Anfang an eine allgemeine vergleichende Verfassungs- und Verwaltungsgeschichte der neueren Staatenwelt, namentlich der romanischen und germanischen Völker. Nach dieser Richtung hin schien mir das große Lebenswerk Rankes am meisten der Ergänzung fähig und bedürftig; und ich danke es meinem verehrten Lehrer Georg Waitz, daß er mich in jungen Jahren auf die Wichtigkeit systematischer juristischer und staatswissenschaftlicher Studien für einen solchen Zweck hingewiesen hat. Die preußische Geschichte wurde mir zum Paradigma für die Ausgestaltungen und Abwandlungen des Lebens eines modernen Staates überhaupt; und von diesem quellenmäßig erforschten und durch die Erfahrungen des öffentlichen Lebens genügend beleuchteten Boden aus konnte ich hoffen, in allseitigem Vordringen ein allmählich tiefer und schärfer werdendes Verständnis für die Eigenart anderer staatlicher Bildungen von ähnlichem oder abweichendem Typus zu gewinnen. So habe ich mich mit den Einrichtungen Österreichs, Spaniens, der Niederlande, der Schweiz, einzelner italienischer Staaten, vor allen aber Frankreichs, Englands, Amerikas, auch der skandinavischen Länder beschäftigt, mit Ungarn, Polen und Rußland und einigen exotischen Staaten wenigstens, soweit es ohne Kenntnis der Landessprache möglich ist. Aus diesen Studien baute ich allmählich, indem ich zunächst in Spezialvorlesungen einzelne besonders wichtige Staaten behandelte, meine größere Vorlesung über allgemeine Verfassungsgeschichte der neueren Völker auf, die einen Hauptgegenstand meiner Universitätslehrtätigkeit bildet und deren wesentlichen Inhalt ich in absehbarer Zeit zu einem Buche ausgestalten zu können hoffe. Ich habe mich in langjähriger Arbeit überzeugt, daß eine vergleichende Behandlung der politischen und sozialen Einrichtungen der verschiedenen zu dem Kulturkreis der abendländisch-christlichen Welt gehörigen Völker fruchtbare Resultate ergibt, deren Andeutung mich freilich hier viel zu weit führen würde; einiges davon findet sich in den von mir herausgegebenen historischen und politischen Aufsätzen und in ein paar neueren Veröffentlichungen. Es kommt mir bei diesen Studien darauf an, die Gegenwart aus der Vergangenheit zu erklären, das gegenwärtige Leben der abendländischen Völker und Staaten, für sich wie in der völkerrechtlichen Gemeinschaft, als das Ergebnis eines großen Entwicklungsprozesses zu begreifen, der von ziemlich gleichartigen Verhältnissen ausgehend, in ziemlich gleichmäßigen Phasen verlaufend, einerseits infolge verschiedener Anlagen und Lebensbedingungen zu fortschreitender Differenzierung in der Entwicklung führt und die Individualität der Völker und Staaten immer schärfer herausarbeitet, andererseits aber auch, namentlich in

der neueren Zeit, durch die Wirkungen des gesteigerten Verkehrs eine allmähliche Ausgleichung hervorbringt, die den gemeinsamen Typus des modernen Kulturlebens doch auch auf dem Gebiete der staatlichen und sozialen Einrichtungen unverkennbar hervortreten läßt. Es genügt nicht, die Eigenart der Staaten aus dem Volksgeist zu erklären; dieser ist vielmehr in der Hauptsache doch erst wieder ein Produkt der Geschichte. Und andererseits möchte ich von Gesetzmäßigkeit in dieser Entwicklung doch nur in einem sehr beschränkten Sinne sprechen; sie herrscht, wenn auch nicht unbedingt, in den unteren mehr vegetativen Funktionen des wirtschaftlich sozialen Volkslebens; aber in der höheren Region des politischen Bewußtseins und der Tat sind Freiheit und Notwendigkeit auch für den, der vorzugsweise die Institutionen im Auge hat, in jener eigentümlichen Weise verknüpft, die das Charakteristische des Menschen- und Völkerlebens und die allgemeine Form geisteswissenschaftlicher Betrachtung ausmacht.

Nichtsdestoweniger scheint es mir möglich und notwendig zu sein, die Ergebnisse einer vergleichenden historischen Betrachtung des Staatslebens der neueren Völker in einen systematischen Zusammenhang zu bringen, wie es von Historikern und Juristen in immer neuen Versuchen geschehen ist und wie ich selbst es seit Jahren in meinen Vorlesungen über allgemeine Staatslehre auf historischer Grundlage zu tun bemüht bin. Die Kategorien des Aristoteles werden immer ihren Wert behalten, aber sie reichen für die neuere Staatenwelt nicht aus. Es gilt, im Geist seiner Methode arbeitend, den neuen Stoff zu bewältigen, aus vergleichenden verfassungsgeschichtlichen Studien ein typisches Bild des modernen Staates in seinen gleichförmigen Grundzügen und Entwickelungstendenzen wie in seinen verschiedenen historischen Phasen und individuellen Ausgestaltungen zu gewinnen und die Ursachen zu erforschen, die den Abweichungen unter den einzelnen Typen oder Individualitäten zugrunde liegen.

So münden meine historischen Bemühungen in die Staatswissenschaft, und ich bin geneigt, die politische, soziale und wirtschaftliche Seite des Völkerlebens, die in der neueren Welt allerdings von der kirchlichen nicht zu trennen ist, als das eigentliche Arbeitsgebiet des Historikers anzusehen, eine allgemeine Kulturgeschichte aber, die in einem weiteren und höheren Sinne alle Lebensäußerungen des menschlichen Geschlechts zu einem großen Gesamtbilde zusammenzufassen und zu erklären versucht, den berufenen und unberufenen Vertretern einer Universalwissenschaft zu überlassen, bereit, dem Genius der Zukunft, der diese Aufgabe einmal bewältigen wird, bescheidene Vorarbeit auf dem beschränkten Gebiet meiner Einzelwissenschaft zu leisten.

Erwiderung des Sekretars Hrn. Roethe.

Als kaiserlicher Wille die philosophisch-historische Klasse am 200. Geburtstage des großen Friedrich mit drei neuen Stellen beschenkte, die, im Geiste jenes Tages, der Geschichte und Staatswissenschaft in erster Linie dienen sollten, da hat wohl niemand von uns daran gezweifelt, daß Sie, Hr. Hintze, der gegebene Mann seien für einen dieser neuen Plätze des Friedrichstages. Wußte doch die Akademie aus ihren eigenen Publikationen am besten, wie Sie es gerade für die Zeit Friedrichs des Zweiten verstanden haben, Geschichte und Staatswissenschaft zu binden, detaillierte Archivforschung mit weitschauender, wählender Gestaltung zu vereinen, das innere Werden des preußischen Staates von neuen Seiten zu erfassen. Und nun haben wir heute mit Freude gehört, daß Sie von dem engen Anfangsthema der preußischen Seidenindustrie, zu der die Akademie aus ihren Kindheitstagen billig noch eine unglückliche Liebe hegen darf, in einem Vierteljahrhundert fortgeschritten sind zu der schönen Aufgabe einer preußischen Gesamtgeschichte. Gerne sieht die Akademie Sie, Hr. Hintze, hinzutreten zu der stattlichen Reihe ausgezeichneter preußischer Historiker, deren sie sich rühmen darf.

Aber Sie wollen die preußische Geschichte ja gar nicht als Ihr eigentliches Fach ansehen, und ich begreife sehr wohl, daß Sie eine solche Beschränkung, die nicht einmal ganz wissenschaftlich wäre, grundsätzlich ablehnen. Lassen Sie es sich trotzdem gefallen, wenn wir Sie heute so festhalten, wie wir Sie aus unsern eignen Schriften kennen. Schon der »preußische Habitus« Ihrer Person (ich zitiere ein Wort unseres geschiedenen Freundes Erich Schmidt) bestätigt uns, daß es doch wohl nicht nur ein äußerer Anlaß war, der Sie zu dem zusammenfassenden preußischen Geschichtswerke zog. Der akademische Bildersaal brandenburgisch-preußischer Geschichtsschreiber ist erstaunlich reich und bunt: an der Spitze kein Geringerer als der große König selbst; hinter ihm der Staatsmann seines Alters, der in schnellfertigen Mémoires die je letzten Ereignisse der preußischen Politik den Schriften der Akademie einverleibte. Rankes überlegener Kritik gesellt sich Riedels archivalischer Fleiß. Und dann jene Gruppe preußischer Historiker, denen die Politik die Feder befeuerte: geborene Preußen, denen der Staat ihrer heimatlichen Liebe lange schmerzlichen Kummer schuf, der Nichtpreuße, der den Staat seiner Wahl in leidenschaftlicher Hingabe pries und verstand. Das bewundernde Verständnis für Preußens große Monarchen, der Glaube an die dauernde Mission dieses starken Staates ist bis in die Sitzungen und Blätter der Akademie hinein auch in historischer Gestaltung oft zu Worte gekommen.

Sie, Hr. Hintze, bevorzugen eine Betrachtungsweise von wohltuend ruhiger, fast kühler Klarheit. Aber Sie verleugnen nirgend, daß Preußen der Staat ist, in und an dem Sie das Wesen des Staates menschlich und wissenschaftlich kennen gelernt haben. Und wenn Sie in klärenden, auch dem Fernerstehenden sehr ergiebigen Darlegungen große Fragen der Weltgeschichte und der geschichtlichen Methodik in jener hellen Deutlichkeit behandeln, die jeder heißen einseitigen Parteinahme abhold ist, wenn Sie die geschichtliche Bedeutung der Rasse, des Individuums, des Imperialismus mit einer geistigen Beherrschung entwickeln, der wir vertrauend folgen, so erwecken Sie Vertrauen eben durch die strenge Selbstbeschränkung, die Sie auf dem festen Boden der preußischen Geschichte gewonnen haben, auf dem Sie, von den weitesten Flügen heimkehrend, immer wieder den sichern Stand der Selbstbesinnung gewinnen werden. Einst belächelte man die Professoren der Politik: Sie wird niemand belächeln, wie Sie Politik lehren und erforschen. Und wenn die großen vergleichenden Aufgaben, die Sie vielverheißend vor uns aufsteigen ließen, Sie selbst noch weiter in das Gebiet der Universalwissenschaft entführen sollten, als Sie es jetzt denken, wir sind gewiß: Sie werden nie zu ihren unberufenen Vertretern gehören. Gerade die Vereinigung fester geistiger Bodenständigkeit mit höchsten Zielen trägt die Gewähr reichen Ertrages in sich, und so freuen wir uns, zugleich sicher und hoffnungsvoll, Ihres Besitzes.

Antrittsrede des Hrn. Sering.

Die Ereignisse, welche die politischen Gemeinschaften treffen, bestimmen in hohem Grade Schicksal und Lebensaufgabe des einzelnen, und besonders des Mannes, der sich den öffentlichen Angelegenheiten widmet.

Ich war ein junger Verwaltungsbeamter in meiner zweiten Heimat, dem Elsaß, als ich den Auftrag erhielt, auf einer amerikanischen Studienreise die Ursachen und Aussichten des Vorganges zu untersuchen, der seit dem Ende der siebziger Jahre die Sorge der Landwirte erregte, und viele von ihnen mit dem wirtschaftlichen Untergange bedrohte: der Massenzufuhr billiger Erzeugnisse des überseeischen Landbaues. Auf so eindrucksvolle Weise setzte jene Phase des internationalen Güteraustauschs ein, welche man mit etwas zweifelhaftem Recht als Zeitalter der Weltwirtschaft bezeichnet.

Die damals von mir gestellte Diagnose und Prognose hat sich im Laufe eines Menschenalters als richtig erwiesen. Aber wichtiger als die Beantwortung einer praktisch bedeutsamen Tagesfrage erschien mir die Gelegenheit, dem vielleicht größten Ereignis der neueren Geschichte als Forscher nahetreten zu können. Die Einbeziehung unentbehrlicher Unterhaltsmittel in den Welthandel war eine Folge der raschen Be-

siedelung ausgedehnter, bisher menschenleerer Teile der gemäßigten Zone mit Hilfe der neuen Verkehrstechnik, also eines wesentlich politischen Vorganges. Indem die Eisenbahnen die Ansiedelungen zu einem unzerreißbaren Netz zusammenflochten, entstanden wirtschaftliche und gesellschaftliche Körper, einheitlich verwaltete Kulturstaaten, welche über weiträumige Kontinente hin die persönlichen und materiellen Kräfte organisierten, auf gemeinsame Ziele lenkten und mit der wirtschaftlichen die politische Machtverteilung unter den Völkern verschoben.

Das wirtschaftsgeographische und nationalökonomische Problem verknüpfte sich also mit einem historisch-politischen von umfassender Bedeutung. Seit der ersten amerikanischen Studienreise habe ich deshalb den neuen Siedelungsgebieten und Kolonien, ihrer Wirtschaft, ihrem sozialen Aufbau, ihrer inneren und auswärtigen Politik meine Aufmerksamkeit gewidmet und durch wiederholte Studienreisen die Anschaulichkeit meiner Vorstellungen zu fördern mich bemüht.

Die Nöte unseres Landvolkes waren indessen keineswegs aus der überseeischen Konkurrenz allein hervorgegangen. Man erkannte bald, daß sie in unserer eignen Rechts- und Wirtschaftsordnung wurzelten. Die Agrarkrisis regte deshalb große Reformen der Agrarverfassung an. Von Bonn nach Berlin berufen, habe ich die Probleme der Grundbesitzverteilung und Innenkolonisation, der Entschuldung und des Agrarrechts, namentlich des ländlichen Erbrechtes wissenschaftlich zu klären versucht. Auch diese Arbeiten führten über das Gebiet der Nationalökonomie im engeren Sinne hinaus. Das Bedürfnis, die Psychologie der mannigfaltigen Vererbungssitten und damit das innere Verhältnis der Landwirte zu ihrem Grundbesitz aufzuhellen, drängte meine Studien zu dem lebendigen Quell historischer Forschung. Bis in die ältesten Zeiten mußte ich in der Geschichte unseres Volkes zurückgehen, um den Mutterboden sittlicher Anschauungen zu finden, welche noch jetzt die Seele der Menschen erfüllen, das geschriebene oder ungeschriebene Recht geprägt und die soziale Verfassung unserer Zeit stark beeinflußt haben. Mit diesen Arbeiten bin ich dem Vorbilde der beiden Nationalökonomen gefolgt, welche 52 und 27 Jahre vor mir in diesen Kreis aufgenommen wurden: Georg Hanssen und Gustav von Schmoller. Eine besonders ergiebige Ausbeute versprach die Sozial- und Wirtschaftsgeschichte der zimbrischen Halbinsel. Denn dort grenzen alte Siedelungsgebiete der Friesen, Sachsen und Jüten aneinander, gliedern sich Kolonien der Holländer ein, und solche der Niederdeutschen auf einst slavischem Boden, und jede Landschaft konnte die Eigenart ihrer bodenständigen Bevölkerung im Stilleben des entlegenen Grenzlandes ungestört entfalten. Dort waren deshalb im Wege der ins einzelne gehenden Forschung Ergebnisse zu gewinnen, deren Tragweite

über das Feld der unmittelbaren Beobachtung erheblich hinausreichte. Die schleswig-holsteinischen Untersuchungen konnten vielfach an Hanssens bahnbrechende Arbeiten anknüpfen.

Die wichtigsten Probleme der Sozialökonomie sind psychologischer Art. Den Menschen als soziales Wesen können wir nicht anders verstehen lernen als durch die Verbindung historischer Forschung mit der Beobachtung der Gegenwart. So wichtig es ist, daß wir selbst beide Erkenntniswege beschreiten, so sehr sind wir jedoch darauf angewiesen, die Errungenschaften der Historiker uns nutzbar zu machen, die auch ihrerseits unserem Bedürfnis immer mehr Rechnung tragen. Die Sozialökonomie ist aber kaum weniger als die Philosophie durch die Weite ihres Arbeitsgebietes genötigt, in lebendiger Fühlung mit aller Forschung, der naturwissenschaftlichen wie der geisteswissenschaftlichen, zu bleiben. Keine andere Stätte begünstigt solche Anteilnahme mehr als die Königlich Preußische Akademie der Wissenschaften. Darum erfüllt es mich mit großer Dankbarkeit, daß Sie mich durch Ihre Wahl in eine der von unserem Allerhöchsten Protektor neu begründeten Stellen berufen haben. Ich hoffe nun um so mehr, nicht nur die erwähnten Studien fortsetzen und besonders auf die heißen Teile der Erde erstrecken, sondern sie auch mit anderen zu einem Gesamtbilde vereinigen und so dem starken Verlangen unserer Tage nach zusammenfassender Erkenntnis an meinem bescheidenen Teil Genüge leisten zu können.

Erwiderung des Sekretars Hrn. Roethe.

Als Georg Hanssen vor einem halben Jahrhundert in die Akademie eintrat, da bezweifelte er allzu bescheiden ebenso seinen wie seiner Wissenschaft Anspruch auf die akademische Würde. Und noch vor fünf Lustren, als Hr. von Schmoller der Unsere wurde, berief er sich zuversichtlicher auf die historische Seele in seiner Brust als auf die nationalökonomische. Wenn er damals mit seinem uns zum Glück noch heute wohlvertrauten Lächeln zugestand, daß die volkswirtschaftliche Weisheit den Religions- und Moralsystemen oft näher stehe als wirklicher Wissenschaft, so deutete er genau auf den Gesichtspunct hin, von dem aus die Akademie eine gewisse abwartende Sprödigkeit gegen manche sehr bedeutende, wie philosophische so auch nationalökonomische Potenz beobachtet hat, die ihr an sich erreichbar gewesen wäre: war ihr doch alles, was irgend nach Dogma, Construction, Speculation schmeckte, nicht ohne Grund verdächtig. Aber die Zeiten und die Wissenschaften haben sich geändert. Sie, Hr. Sering, treten, wie Ihre frischen persönlichen Worte uns wohltuend gezeigt haben, mit voller Unbefangenheit in unsern Kreis, ohne einen Zweifel daran, daß Ihre Wissenschaft sich unter uns sehen lassen dürfe.

Und Sie haben Recht. Die Vorstellung, als ob eine so praktische Wissenschaft wie die Nationalökonomie der Akademie nicht zieme, wird durch ihre eigene Geschichte zum Vorurteil gestempelt. Nach Leibnizens Absicht sollte die Akademie 'theoriam cum praxi' vereinigen, 'Feldbau, Manufactur und Commercien, mit einem Wort, die Nahrungsmittel verbessern', nicht aber sich mit 'unnützen Curiositäten' abgeben, 'mit denen kein großer Fürst Staat machen' könne. Ich fürchte sehr, daß vor diesem Grundsatz manch Vertreter alter akademischer Fächer schlechter bestehen würde als Sie, Hr. Sering. Große Erfolge haben die ökonomischen Bemühungen der jungen Akademie freilich nicht gehabt: alle ihre Seidenwürmer haben ihre Finanzen auf keinen grünen Maulbeerzweig gebracht, und mit den nützlichen Wasserwerken, Feuerspritzen und Scheidewassern, auf die sie ihr planisierendes Absehen richtete, vermochte sie dem dünnen Rinnsal ihrer Einkünfte keinen reicheren Fluß zuzuführen. Da mag sie denn in der Ökonomie einen Haken gefunden haben.

'Feldbau und Nahrungsmittel' haben Ihnen, Hr. Sering, von je am Herzen gelegen; die Lage unserer Landwirtschaft zu studieren, ist Ihnen geliebte Lebensaufgabe. Ihre offene, zuverlässige, breitschultrige Art hat es verstanden, sich Vertrauen unter den Landleuten zu erwerben, und Sie haben den Scharfblick und das seltene Glück gehabt, wichtige Entwicklungen vorher zu künden, eine Prophetengabe, die unter Gelehrten bekanntlich nicht allzu verbreitet ist. Und wenn anfangs die Gegenwart ihre wissenschaftliche Arbeit ganz in Anspruch nahm und Sie höchstens auf die Zukunft hinwies, so hat eben die Landwirtschaft, besonders eng verwachsen nicht nur mit der Natur, sondern auch mit der Geschichte, Sie mehr und mehr in die Vergangenheit geführt. Auch Ihnen haben es die kernigen niederdeutschen Bauern angetan, die einst Justus Möser germanische Urgeschichte lehrten und bei denen dann Georg Hanssen mit Schirmmütze und Knotenstock offnen Auges von Dorf zu Dorf wanderte, um sich geschichtliche Aufschlüsse zu holen und sein Bedürfnis nach volkswirtschaftlichen Anschauungen zu befriedigen. Die Zeiten haben sich auch da geändert: es geht nicht mehr per pedes apostolorum; Ihre Studienreisen haben andere Dimensionen; Ihre volkswirtschaftlichen Anschauungen haben Sie in Amerika und Rußland und ich weiß nicht wo sonst, bereichert, und wir müssen nach Ihren Andeutungen gar darauf gefaßt sein, Sie eines Tages auch einmal ein wenig an Afrika oder sonst einen äquatorialen Erdteil abgeben zu müssen. Aber bei all Ihrem Interesse für die neuen Welten hat es Sie doch gedrängt, die alte Welt holsteinischen Bauerntums durch die Jahrhunderte zurück zu verfolgen und wieder aufzubauen, um von da aus die feinen und doch so mächtigen psy-

chischen Voraussetzungen ländlicher Existenz ganz zu würdigen, auf denen trotz allem Wandel auch die Zustände der Gegenwart in Gutem und Schlimmem noch immer ruhen. Sie selbst fühlen, daß diese holsteinischen Forschungen Ihre wissenschaftliche Persönlichkeit uns besonders nahe gebracht haben. Aber wir werden auch das mit Befriedigung begrüßen, wenn Sie, der rührige Kenner moderner Weltwirtschaft, uns auf Neuland geleiten wollen. Bei der rechten 'Dauer im Wechsel', wie sie der Akademie gebührt, darf neben der Dauer auch der Wechsel nicht zu kurz kommen, und so versprechen wir uns von Ihnen, Hr. Sering, nicht nur trotz, sondern gerade wegen Ihrer praktischen Richtung in die weite moderne Welt hinein eine reiche Förderung und Erfrischung unserer akademischen Arbeit.

Antrittsrede des Hrn. Goldschmidt.

Bei meinem Eintritt in diesen auserwählten Kreis habe ich es nicht mehr nötig, für die Aufnahme der Wissenschaft, die ich vertrete, zu danken. Sie hat schon, wenn auch erst jüngst, ihren Einzug gehalten durch meinen Vorgänger Heinrich Wölfflin. Er war es, der durch seine eindringliche Arbeit für unsere gemeinsame Disziplin die Bresche schlug, durch die ich selbst jetzt mit minderen Verdiensten und dennoch bequemer die Hochburg betrete. Bin ich ihm dafür tiefen Dank schuldig, so danke ich heute doch in erster Linie den Bewohnern dieser wissenschaftlichen Veste, daß sie mich unter ihre Zahl aufgenommen haben und daß sie von mir erwarten, daß auch ich dieses von Dilettantismus gefährdete Fach in reiner Wissenschaftlichkeit weiterzuführen bemüht sein werde.

Mein Vorgänger hat bei seinem Eintritt schon betont, daß es die Aufgabe der Kunstgeschichte ist, das Wesen und die Entwicklung künstlerischer Darstellungsformen klarzulegen, und daß zwischen ihr und der klassischen Archäologie ein Unterschied darin besteht, daß das Präparieren der Objekte durch philologische und historische Kritik einen geringeren Raum einnimmt als dort, weil uns eine viel größere Fülle fest eingeordneter Kunstwerke zur Verfügung steht. Zwischen dieser historisch-kritischen Ordnung des Denkmälermaterials aber und jener Ausdeutung der Formen zu allgemeinen Gestaltungsprinzipien liegt ein drittes: das kritische Sehen.

In den Naturwissenschaften kann man einen Zustand in einen andern überführen, in der Naturbeobachtung die Knospe zur Blume auswachsen sehen, in der bildenden Kunst besitzen wir, wie in Literatur und Musik, das reife Werk losgelöst neben dem primitiven, die eine Schöpfung eines Künstlers als Eigenwesen neben der andern.

Die Synthese schafft erst das Auge. Das Gemeinsame und im Anschluß daran das Wachsende, sich Wandelnde, sagt uns erst unser Blick oder vielmehr die Unterscheidungsfähigkeit gegenüber den Eindrücken, die unser Auge empfängt. Sie ist die Vorbedingung zu allen wissenschaftlichen Schritten, die über die bloße Registrierung hinausgehen, sie führt in Verbindung mit einer Summe von Kenntnissen der Objekte und ihrer historischen Festlegung zur sogenannten Kennerschaft, und sie weist anderseits dem Kunstwerk seinen stilistischen Platz an. Diese Fähigkeit ist es aber auch gerade, für die es keinen festen Maßstab gibt. Sie wird geschätzt nach dem entsprechenden Urteil anderer oder nach den Proben auf das Exempel, die uns neu gefundene Dokumente oder historische Kombinationen liefern. Und so macht gerade dieser wichtigste Bestandteil kunstgeschichtlicher Arbeitsleistung es dem Dilettantismus leicht, sich ungestraft zu tummeln. Er übersieht, daß dies Unterscheidungsvermögen erstens in der Feinfühligkeit an sich geübt sein will, daß es ferner durch die bereits vorhandenen kunstgeschichtlichen Ergebnisse unterstützt sein muß, generelle und individuelle Abweichungen zu trennen, und daß es endlich imstande sein muß, die innere Einheitlichkeit der sichtbaren Besonderheiten eines Objektes, die das Zeichen seiner Qualität ist, zu ermessen.

Von der höchsten Warte der Klarlegung der Gesetze optisch formaler Gestaltung aus ist nun allerdings auch diese Verbindung der Kunstwerke durch die Kritik des Auges erst eine Vorbereitung zur letzten kunsthistorischen Erkenntnis, aber ihr fällt noch ein so gewaltiger Teil der zu leistenden Arbeit anheim, daß die Schulung der Kräfte ihr in erster Linie gewidmet werden muß.

Was mich selbst betrifft, so haben ohne vorgefaßten Plan die genannten drei Faktoren kunstgeschichtlicher Arbeit in meinen Studien in aufsteigender Folge ihren Akzent erhalten. Durch meinen Lehrer Anton Springer wurde ich von der historischen Seite in die Kunstgeschichte eingeführt. Die packende Fähigkeit, in seinen Vorlesungen die künstlerischen Erscheinungen mit den weltgeschichtlichen und literarischen Ereignissen zu einem lebendigen Bilde zu gestalten, begeisterte mich und führte mich zu historischen und germanistischen Studien. Erst allmählich erhielt durch den Besuch von Museen und durch Reisen im Ausland das bewußte Sehen und Einprägen der formalen Eigentümlichkeiten eine immer größere Bedeutung, und schließlich war es die Einordnung dieser Erscheinungen als Äußerungen sich wandelnder Gesamtauffassungen, die seit den 90er Jahren mich ebenso wie viele Fachgenossen stärker beschäftigte. Es ist keine Frage, daß auf diesem letzten Wege Heinrich Wölfflin ein Führer war, meine

Dankbarkeit ihm gegenüber geht also in jene Zeit zurück, wo ich zuerst seine Studien über die Barockarchitektur gelesen habe.

Durch alle Phasen aber ist eines in meinen Studien beständig geblieben, es ist das die Vorliebe für das Mittelalter. Auch für dies Interesse war schon ANTON SPRINGER maßgebend. Vor allem gingen meine Arbeiten über frühe Bilderhandschriften von Anregungen seiner Vorlesungen aus, wenn dann auch gerade sie zu anderen Anschauungen führten von der Beziehung des Abendlandes zur byzantinischen Kunst. SPRINGER hatte den Einfluß von Byzanz im abendländischen Mittelalter möglichst zurückgedrängt und vielfach ganz verneint; ich gelangte sowohl bei den Miniaturenstudien wie auch in meinen Arbeiten über die spätromanische deutsche Plastik zur Betonung dieses Einflusses. Vielleicht war darin auch ein längerer Aufenthalt in Sizilien von Bedeutung, der durch den Zufall herbeigeführt, mir Gelegenheit zur Aufnahme und Bearbeitung der normannischen Königspaläste brachte. Studien im übrigen Italien, vor allem ein römischer Aufenthalt, ließen mich die Vorarbeiten zu einer Geschichte der römischen Malerei im Mittelalter in Angriff nehmen, doch blieb dies Ziel ein Jugendtraum. Dagegen reiften von einem ebenfalls alten Plan vor kurzem die ersten Früchte in der Form einer kritischen Sammlung aller frühmittelalterlichen Elfenbeinskulpturen, die uns aus den älteren Jahrhunderten oft einzig und allein die plastischen Formen repräsentieren.

Haben mich meine Untersuchungen auch zuweilen auf jüngeres Gebiet, vor allem die niederländische Malerei geführt, so trieb es mich doch stets zum Mittelalter zurück, vielleicht gerade, weil es die Epoche ist, die wir noch am wenigsten kennen, denn selbst da, wo man Erkenntnisse aufzubauen glaubte, ruhen diese vielfach auf einem gar zu lückenhaften und zufälligen Material. Hier gilt es allerdings noch viel zu präparieren, die Objekte zu Komplexen zu sammeln, die unterscheidenden Merkmale festzustellen, zeitliche und örtliche Anhaltspunkte zu gewinnen. Es ist die Zeit, in der die Stilformen von den uns geläufigen am stärksten abweichen, so daß wir gezwungen sind, uns in ganz andere, gebundenere Anschauungsformen hineinzuversetzen, in denen die großen Bewegungen zuweilen klarer zum Ausdruck kommen als in den reicheren individuellen Äußerungen der späteren Kunst. Das ornamentale Element besitzt noch ein größeres Übergewicht über die verhältnismäßig geringen naturalistischen Ansprüche und imitativen Mittel und offenbart zeitliche und volkstypische Triebe in ungebrochener Stärke. Eine ganze Gruppe von Darstellungsformen, die vor der optischen Kontinuität liegen, wie man sie seit dem 14. Jahrhundert zu fordern beginnt, wird uns erst durch das Studium des älteren Mittelalters kund. Unsere Stellung zur Relativität der Qualität

wird eine viel freiere. Den wichtigsten Prozeß aber, den uns das Mittelalter vor die Augen führt, ist die Aufnahme der reifen orientalischen und griechisch-römischen Kunstformen durch die nordischen noch ungeübten und andersgearteten Völker, die Vorgänge der Anpassung, der Abstoßung, der Umformung, der pendelartigen Hin- und Herbewegung und der schließlichen Neuschöpfung von Typen. Die Konstellation eines solchen Zusammenstoßes finden wir in dieser Größe und Reichhaltigkeit in der Geschichte nicht zum zweitenmal. So winken hier Aufschlüsse in großer Zahl, die über das zunächst notwendige Sammeln und Ordnen mit historischer und stilistischer Kritik ebenfalls hinausführen werden zu großen Gesetzen. Meine Hoffnung geht dahin, der Akademie noch manches Forschungsresultat aus diesem Gebiet als Dankesgabe vorlegen zu können.

Erwiderung des Sekretars Hrn. Diels.

Als ich vor drei Jahren die Ehre hatte, an dieser Stelle Hrn. Wölfflin als Vertreter der modernen Kunstgeschichte bei seinem Eintritt in die Akademie zu begrüßen, sprach ich ihm in meinem und meiner Kollegen Namen den aufrichtigen und herzlichen Wunsch aus, es möge ihm in unserer Mitte ein langes und gesegnetes Wirken beschieden sein. Es ist anders gekommen! Sein Genius zog ihn nach der Kunststadt im Süden, wir aber sahen diese wichtige Fachstelle, die in ihm ihren ersten Vertreter gefunden, wiederum verwaist. Wir schätzen uns glücklich, daß es nunmehr gelungen ist, Sie, Hr. Goldschmidt, an seine Stelle zu rufen und wissen Sie gewillt und gerüstet, das Werk Ihres Vorgängers zwar nicht direkt fortzusetzen (das ist bei diesen akademischen Sukzessionen nicht häufig und auch nicht immer wünschenswert), aber auf andern Bahnen nach demselben hohen Ziele hin zu streben. Dies Ziel ist die Ausgestaltung der Kunstgeschichte zum Range einer objektiven Wissenschaft. Von den drei Stufen, die zu diesem Ziele hinführen, bekennen Sie, die historische Anregung von Anton Springer empfangen zu haben, in dem wir beide einen unvergeßlichen Lehrer verehren. Ihm haben Sie die besondere Richtung Ihrer Studien zum Mittelalter zu verdanken, von denen z. B. Ihre Bearbeitung des Hildesheimer Psalters und des Goslarer Evangeliars wie Ihre Aufklärung der romanischen Bauornamentik in Sachsen Kunde geben. So glänzend auch Springers Interpretation der Meisterwerke der Renaissance war, am meisten ergriff doch seine vertrauteren Schüler, wenn er sie an die romanischen und gotischen Meisterwerke der Rheinlande führte und sie in die Geheimnisse dieser uns so fremden Zeit einweihte, oder wenn er uns gar im kleinsten Kreise ein mittel-

alterliches Kirchengerät oder Miniaturenwerk zur Bestimmung des Stils und der Zeit vorlegte und die wundersame Bildersprache der romanischen Romantik deutete, die es liebt, reiche Bilder des Lebens in spiritualistisch-allegorischer Auffassung vorzuführen.

Aber die liebevolle Versenkung in diese Welt des Mittelalters und die historisch-archivalische Schulung, in der der Schüler bald den Meister weit übertreffen sollte, konnte dem Ideal der Kunstwissenschaft, das Ihnen vorschwebte, noch nicht Genüge leisten. Es zog Sie fort zum Sehen und Vergleichen der Objekte. Auf vielen Reisen im In- und Auslande erwarben Sie Sich jene staunenswerte Monumenten- und Museenkenntnis, die uns bei Ihren Untersuchungen in Staunen setzt. Sie fügten so zu dem Historiker den Kunstkenner, der das einzelne Objekt in allen seinen Teilen und Qualitäten mit sicherem Blick zu erfassen und abzuschätzen weiß. Und zu dieser Optik, die sich an den einzelnen Kunstwerken und Kunststätten erprobt und erzogen hat, fügte sich dann als Drittes jene Universaloptik, die das einzelne zusammenschauen und das Wesentliche und Ewige der Kunst zu erkennen und darzustellen vermag. So eröffnet sich Ihnen im alten Lübeck die Linie, die nach Flandern, im alten Goslar wie in Sizilien nach Byzanz, im alten Sachsen nach Oberitalien weist, und Sie lassen uns erkennen, wie sich alle diese Linien gegenseitig kreuzen und befruchten.

Wenn Sie Ihren Vorgänger Wölfflin auf diesem Wege zum höchsten Ziele als Führer dankbar erwähnen, so darf ich doch hinzufügen, daß Sie auch auf dieser Stufe Ihre Eigenart völlig gewahrt haben. Denn so gern Sie sich auch in Ihren Betrachtungen zur Höhe weitreichender Generalisationen erheben, so sieht man doch, daß Sie Ihren Stufenweg mehr auf der Bahn des Historikers und Kenners als auf dem des Philosophen und Theoretikers zurückgelegt haben.

Unser Institut hofft in Ihnen noch eine für unser akademisches Wirken besonders wertvolle Gabe sich nutzbar machen zu können, Ihr Organisationstalent. Wie Sie in Halle eine kunsthistorische Schule aus dem Nichts geschaffen haben, so haben Sie durch Ihr letztes großes Werk, das Corpus der mittelalterlichen Elfenbeinskulpturen, von dem soeben der erste Band erschien, gezeigt, daß Sie als Privatmann, von zwei Freunden unterstützt, eine monumentale Leistung zustande zu bringen vermochten, die an Schwierigkeit und Bedeutung mit den schwierigsten und bedeutendsten Corpusunternehmungen unserer Akademie es aufnehmen kann. Die glückliche Kombination, die Ihnen gestattete, gleich bei dem ersten Stücke zwei Elfenbeindeckel des Louvre, deren Zeitbestimmung zwischen 3 Jahrhunderten geschwankt hatte, auf die Zeit Karls des Großen zu fixieren, indem Sie das zu den Deckeln gehörige

Buch in dem berühmten Wiener Psalter wiederfanden, den Karl der Große an Papst Hadrian sandte; dieser Fund hat ihnen gestattet, eine ganze Gruppe der karolingischen Kleinplastik mit einem Schlage an den richtigen Ort zu stellen und hat Ihnen zugleich in dieser Elfenbeinkunst das Mittel an die Hand gegeben, eine wichtige Epoche der frühmittelalterlichen Kunst, aus der sonst kein Werk der Plastik sich erhalten hat, nach der künstlerischen Seite zu bewerten und darin den frischen Hauch einer Frührenaissance zu spüren, wie er uns aus so vielen andern Erzeugnissen jener großen Zeit entgegenweht. Wir hoffen, daß Sie das große Werk, das Sie begonnen, glücklich zu Ende führen werden, und daß die Akademie an Ihren Arbeiten und Erfolgen teilnehmen darf.

Sodann erfolgten Mitteilungen betreffend die Akademische Preisaufgabe für 1914 aus dem Gebiet der Mathematik, das Preisausschreiben aus dem Ellerschen Legat, das Preisausschreiben aus dem Cotheniusschen Legat, die Preisaufgabe der Charlotten-Stiftung, die Akademische Preisaufgabe für 1917 aus dem Gebiete der Philosophie, das Stipendium der Eduard Gerhard-Stiftung und die Preisausschreibung aus der Graf Loubat-Stiftung.

Akademische Preisaufgabe für 1914 aus dem Gebiet der Mathematik.

Die Akademie hat in der Leibniz-Sitzung des Jahres 1910 folgende Preisaufgabe gestellt:

»Die Klassenzahl des allgemeinsten Kreiskörpers soll berechnet und mit der Klassenanzahl seiner Divisoren verglichen werden.«

Bewerbungsschriften, die bis zum 31. Dezember 1913 erwartet wurden, sind nicht eingelaufen. Die Akademie will daher von ihrer Befugnis Gebrauch machen, die Preissumme dem Verfasser einer in das Gebiet der gestellten Preisaufgabe einschlagenden, innerhalb des Zeitraums 1911—1914 veröffentlichten Schrift oder dem Urheber einer in der gleichen Zeit ausgeführten wissenschaftlich hervorragenden Arbeit als Ehrengabe überweisen zu dürfen. Sie erkennt den ausgesetzten Betrag von fünftausend Mark dem außerordentlichen Professor der Mathematik an der Universität Leipzig Dr. Paul Koebe für seine ausgezeichneten Arbeiten auf dem Gebiete der Funktionentheorie zu.

Preisausschreiben aus dem Eller'*schen Legat.*

In der Leibniz-Sitzung des Jahres 1910 hat die Akademie für das Jahr 1914 wiederholt folgende Preisaufgabe aus dem Eller'schen Legat ausgeschrieben:

»Die Akademie verlangt Untersuchungen über die unsern Süßwasserfischen schädlichen Myxosporidien. Es ist alles, was von der Entwicklung dieser Parasiten bekannt ist, übersichtlich zusammenzustellen und mindestens bei einer Spezies der vollständige Zeugungskreis experimentell zu ermitteln.«

Der ausgesetzte Preis betrug viertausend Mark.

Es ist eine Bewerbungsschrift rechtzeitig eingegangen, mit dem Motto: »Wer immer strebend sich bemüht, den können wir erlösen.« Diese Arbeit gibt eine auf eigene Untersuchungen basierte und die vorhandene Literatur berücksichtigende Darstellung eines in der Gallenblase des Zitterrochens Torpedo und einiger anderer Selachier lebenden Myxosporidiums, des Chloromyxum leydigi Mingazzini. Sie entspricht aber nicht der von der Akademie gestellten Aufgabe, insofern erstens die Untersuchung nicht an den unseren Süßwasserfischen schädlichen Myxosporidien, sondern an einem im Mittelmeer vorkommenden Fische angestellt ist, und weil zweitens die Forderung der Akademie: alles, was von der Entwicklung dieser Parasiten bekannt sei, übersichtlich zusammenzustellen, nicht erfüllt ist. Schon aus diesen Gründen kann der Arbeit der ausgesetzte Preis nicht erteilt werden.

Die Akademie will nunmehr, da die Preisausschreibung wiederholt erfolglos geblieben ist, von ihrer Befugnis Gebrauch machen, die Preissumme dem Verfasser einer in das Gebiet der gestellten Preisaufgabe einschlagenden, innerhalb des Zeitraums 1911—1914 veröffentlichten Schrift oder dem Urheber einer in der gleichen Zeit ausgeführten wissenschaftlich hervorragenden Arbeit als Ehrengabe überweisen zu dürfen. Sie erkennt den ausgesetzten Betrag von viertausend Mark ihrem korrespondierenden Mitglied Hrn. Viktor Hensen in Kiel für seine hervorragenden Verdienste um die Planktonforschung und sein Werk »Das Leben im Ozean« zu.

Preisausschreiben aus dem Cothenius'*schen Legat.*

Die Akademie hat in der Leibniz-Sitzung des Jahres 1908 und wiederholt in derjenigen von 1911 folgende Preisaufgabe aus dem Cothenius'schen Legat ausgeschrieben:

»Der Entwickelungsgang einer oder einiger Ustilagineen soll möglichst lückenlos verfolgt und dargestellt werden, wobei besonders auf die Überwinterung der Sporen und Mycelien Rücksicht zu nehmen ist.

Wenn irgend möglich, sind der Abhandlung Praeparate, welche die Frage entscheiden, beizulegen.«

Bewerbungsschriften, welche bis zum 31. December 1913 erwartet wurden, sind auch diesmal nicht eingelaufen; dennoch will die Akademie die Aufgabe zum dritten Male unverändert stellen.

Der ausgesetzte Preis beträgt zweitausend Mark.

Die Bewerbungsschriften können in deutscher, lateinischer, französischer, englischer oder italienischer Sprache abgefasst sein. Schriften, die in störender Weise unleserlich geschrieben sind, können durch Beschluss der zuständigen Classe von der Bewerbung ausgeschlossen werden.

Jede Bewerbungsschrift ist mit einem Spruchwort zu bezeichnen, und dieses auf einem beizufügenden versiegelten, innerlich den Namen und die Adresse des Verfassers angebenden Zettel äusserlich zu wiederholen. Schriften, welche den Namen des Verfassers nennen oder deutlich ergeben, werden von der Bewerbung ausgeschlossen. Zurückziehung einer eingelieferten Preisschrift ist nicht gestattet.

Die Bewerbungsschriften sind bis zum 31. December 1916 im Bureau der Akademie, Berlin NW 7, Unter den Linden 38, einzuliefern. Die Verkündigung des Urtheils erfolgt in der Leibniz-Sitzung des Jahres 1917.

Sämmtliche bei der Akademie zum Behuf der Preisbewerbung eingegangenen Arbeiten nebst den dazu gehörigen Zetteln werden ein Jahr lang von dem Tage der Urtheilsverkündigung ab von der Akademie für die Verfasser aufbewahrt. Nach Ablauf der bezeichneten Frist steht es der Akademie frei, die nicht abgeforderten Schriften und Zettel zu vernichten.

Preisaufgabe der Charlotten-Stiftung.

Gemäss dem Statut der von Frau Charlotte Stiepel geb. Freiin von Hopffgarten errichteten Charlotten-Stiftung für Philologie hat die Akademie in der Leibniz-Sitzung am 26. Juni 1913 die folgende Preisaufgabe gestellt:

> »Es wird eine Sammlung der Fragmente der älteren Akademiker (mit Einschluss von Herakleides und Eudoxos) und auf dieser Grundlage eine Darstellung des Schulbetriebs der Akademie in dieser Epoche gewünscht.
>
> Da diese Aufgabe in der zur Verfügung stehenden Zeit nicht befriedigend gelöst werden kann, so soll ein beliebiger Ausschnitt (z. B. über Philippos) als Probe zur Bewerbung eingereicht werden.«

Die Aufgabe ist in zwei rechtzeitig abgelieferten Bewerbungsarbeiten angegriffen worden.

Die erste mit dem Kennwort: *Vetus Academia haec tamquam omnium artificum officina* hat eine Sammlung der Fragmente von 37 minder bedeutenden und von 4 wichtigeren Akademikern (Herakleides, Eudoxos, Polemon und Krates) geliefert. Speusippos, Xenokrates, Krantor wurden als bereits genügend behandelt bei Seite gelassen.

Der Bearbeiter hat zwar eine fleissige und hier und da Neues bietende Zusammenstellung der Fragmente gegeben, aber da er das Ganze zu umfassen suchte, was ausdrücklich bei der Stellung der Aufgabe als untunlich bezeichnet worden war, und die nötige eingehendere Behandlung eines beliebigen Ausschnittes, wie sie gewünscht war, nicht geliefert hat, so kann die Aufgabe um so weniger für gelöst gelten, als der Versuch, den »Schulbetrieb unter den Nachfolgern Platos« in einer Schlussdarstellung zusammenzufassen, dartut, dass der Verfasser den Schwierigkeiten dieser Aufgabe noch nicht gewachsen ist.

Die zweite Bearbeitung mit dem Motto ἡ γὰρ νοῦ ἐνέργεια ζωή behandelt entsprechend der in der Preisaufgabe angegebenen Beschränkung lediglich Philippos von Opus. Nach einer kurzen Aufzählung der Zeugnisse und Fragmente geht der Verfasser auf Leben und Schriften des Akademikers in eingehender Forschung ein. Durch eine scharfsinnige Interpretation der Epinomis in Verbindung mit den anderweitig überlieferten Daten gelingt es ihm, das bisher recht undeutliche Bild des Mannes überraschend aufzuhellen und mit den Studien des greisen Platon und seiner Mitschüler in Verbindung zu setzen. Die Verknüpfung des Philipp mit Philolaos' Lehre führt schon über Platon hinaus; noch mehr der Gestirncult, der überzeugend auf chaldäische Einflüsse in der Akademie zurückgeführt wird. Endlich ergiebt sich enge Anlehnung an den Kalender Euktemons. Vermisst wird eine eingehendere Stilanalyse der Epinomis, obgleich sich der Verfasser, wie Andeutungen zeigen, auch hiermit beschäftigt hat. Der Verfasser wird gut tun, diese Lücke bei der Publication auszufüllen.

Die Darstellung, die am Anfang etwas vag gehalten ist, gewinnt mit dem Fortschreiten der Arbeit immer mehr wissenschaftliche Consistenz und gestattet, mit Leichtigkeit den neuen und weitblickenden Forschungsresultaten des Verfassers zu folgen. Er hat unzweifelhaft einen sehr wertvollen Beitrag zur Geschichte der älteren Akademie geliefert und zugleich angedeutet, wie diese an Platons letzte Phase anknüpfende Astrolatrie und Dämonologie Philipps bei Poseidonios und den Neuplatonikern ihre weitere Ausgestaltung erhält.

Die Akademie hat daher dieser zweiten Arbeit den Preis der Charlotten-Stiftung zuerkannt.

Die nach Verkündung des vorstehenden Urtheils vorgenommene Eröffnung des Namenszettels ergab als Verfasser Dr. Werner Wilhelm Jäger, zur Zeit der Bewerbung Privatdozenten der Universität Berlin, jetzt außerordentlichen Professor an der Universität Basel.

Akademische Preisaufgabe für 1917 aus dem Gebiete der Philosophie.

Die Akademie stellt für das Jahr 1917 folgende Preisaufgabe: »Der Antheil der Erfahrung an den menschlichen Sinneswahrnehmungen soll systematisch untersucht und dargestellt werden. Es kommt nicht darauf an, dass die Menge der in der physiologischen und psychologischen Literatur angehäuften Einzelthatsachen gesammelt, sondern darauf, dass die verschiedenen Formen der sinnlichen Erfahrung so scharf als möglich nach Art und Grenzen ihrer Wirksamkeit bestimmt und die gemeinsamen Faktoren und Gesetzlichkeiten in den verschiedenen Sinnesgebieten aufgezeigt werden. Genaue Nachprüfung der verwerteten Beobachtungen ist erforderlich, grössere selbständige Experimentaluntersuchungen über entscheidende Punkte sind erwünscht.«

Der ausgesetzte Preis beträgt fünftausend Mark.

Die Bewerbungsschriften können in deutscher, lateinischer, französischer, englischer oder italienischer Sprache abgefasst sein. Schriften, die in störender Weise unleserlich geschrieben sind, können durch Beschluss der zuständigen Classe von der Bewerbung ausgeschlossen werden.

Jede Bewerbungsschrift ist mit einem Spruchwort zu bezeichnen, und dieses auf einem beizufügenden versiegelten, innerlich den Namen und die Adresse des Verfassers angebenden Zettel äusserlich zu wiederholen. Schriften, welche den Namen des Verfassers nennen oder deutlich ergeben, werden von der Bewerbung ausgeschlossen. Zurückziehung einer eingelieferten Preisschrift ist nicht gestattet.

Die Bewerbungsschriften sind bis zum 31. December 1916 im Bureau der Akademie, Berlin NW 7, Unter den Linden 38, einzuliefern. Die Verkündigung des Urtheils erfolgt in der Leibniz-Sitzung des Jahres 1917.

Sämmtliche bei der Akademie zum Behuf der Preisbewerbung eingegangenen Arbeiten nebst den dazu gehörigen Zetteln werden ein Jahr lang von dem Tage der Urtheilsverkündigung ab von der Akademie für die Verfasser aufbewahrt. Nach Ablauf der bezeichneten Frist steht es der Akademie frei, die nicht abgeforderten Schriften und Zettel zu vernichten.

Stipendium der Eduard Gerhard-Stiftung.

Das Stipendium der Eduard Gerhard-Stiftung war in der Leibniz-Sitzung des Jahres 1913 für das laufende Jahr mit dem Betrage von 2400 Mark ausgeschrieben. Die philosophisch-historische Classe der Akademie hat jedoch beschlossen, das Stipendium diesmal nicht zu vergeben.

Statt dessen wird es für das Jahr 1915 mit dem Betrage von 4800 Mark ausgeschrieben. Bewerbungen sind vor dem 1. Januar 1915 der Akademie einzureichen.

Nach § 4 des Statuts der Stiftung ist zur Bewerbung erforderlich:

1. Nachweis der Reichsangehörigkeit des Bewerbers;
2. Angabe eines von dem Petenten beabsichtigten durch Reisen bedingten archäologischen Planes, wobei der Kreis der archäologischen Wissenschaft in demselben Sinn verstanden und anzuwenden ist, wie dies bei dem von dem Testator begründeten Archäologischen Institut geschieht. Die Angabe des Planes muss verbunden sein mit einem ungefähren sowohl die Reisegelder wie die weiteren Ausführungsarbeiten einschliessenden Kostenanschlag. Falls der Petent für die Publication der von ihm beabsichtigten Arbeiten Zuschuss erforderlich erachtet, so hat er den voraussichtlichen Betrag in den Kostenanschlag aufzunehmen, eventuell nach ungefährem Überschlag dafür eine angemessene Summe in denselben einzustellen.

Gesuche, die auf die Modalitäten und die Kosten der Veröffentlichung der beabsichtigten Forschungen nicht eingehen, bleiben unberücksichtigt. Ferner hat der Petent sich in seinem Gesuch zu verpflichten:

1. vor dem 1. December des auf das Jahr der Verleihung folgenden Jahres über den Stand der betreffenden Arbeit sowie nach Abschluss der Arbeit über deren Verlauf und Ergebniss an die Akademie zu berichten;
2. falls er während des Genusses des Stipendiums an einem der Palilientage (21. April) in Rom verweilen sollte, in der öffentlichen Sitzung des Deutschen Instituts, sofern dies gewünscht wird, einen auf sein Unternehmen bezüglichen Vortrag zu halten;
3. jede durch dieses Stipendium geförderte Publication auf dem Titel zu bezeichnen als herausgegeben mit Beihülfe des Eduard Gerhard-Stipendiums der Königlichen Akademie der Wissenschaften;
4. drei Exemplare jeder derartigen Publication der Akademie einzureichen.

Preisausschreibung aus der Graf Loubat-Stiftung.

Die Akademie wird am Leibniz-Tage im Juli 1916 aus der Graf Loubat-Stiftung einen Preis von 3000 Mark an diejenige gedruckte Schrift aus dem Gebiet der praecolumbischen Alterthumskunde von ganz Amerika (Nord-, Central- und Südamerika) zu ertheilen haben, welche unter den ihr eingesandten oder ihr anderweitig bekannt gewordenen als die beste sich erweist. Sie setzt demgemäss den 1. Januar 1916 als den Termin fest, bis zu welchem Bewerbungsschriften an sie eingesandt und in Berlin eingetroffen sein müssen. Statutenmässig dürfen nur solche Schriften prämiirt werden, welche innerhalb der letzten zehn Jahre erschienen sind. Als Schriftsprache wird die deutsche und die holländische zugelassen.

Verleihung der Leibniz-Medaille.

Schließlich verkündigte der Vorsitzende, an wen die Akademie die von Sr. Majestät dem Kaiser und König am 27. Januar 1906 gestiftete Leibniz-Medaille zur Ehrung besonderer Verdienste um die Förderung der Aufgaben der Akademie verliehen habe. Sie hat je eine silberne Medaille drei um die Wissenschaft hochverdienten Männern zuerkannt, von denen die beiden ersten leider heute nicht persönlich erscheinen konnten.

Hr. Dr. Walter Andrae ist seit 1898 im Dienste der Deutschen Orientgesellschaft und hat sich als Leiter ihrer Ausgrabungen hervorragende Verdienste erworben, zuerst in Babylon, dann in Fara und seit 12 Jahren in Assur, der ältesten Hauptstadt Assyriens. Diese Tätigkeit und seine wertvollen Publikationen über die Ergebnisse dieser Ausgrabungen haben die Akademie veranlaßt, ihm eine silberne Leibniz-Medaille zu verleihen.

Ferner verlieh sie eine zweite silberne Leibniz-Medaille dem Generalmajor Dr. Erwin Schramm, Kommandeur der 3. Feldartillerie-Brigade Nr. 32 in Bautzen. Dieser Offizier hat es verstanden, die schon zweimal vor ihm von französischen und deutschen Offizieren vergeblich versuchte Aufgabe, die antiken Geschütze in modernen Nachbildungen herzustellen, in erfolgreicher Weise zu lösen. Er hat die verschiedenen Arten von antiken Ballisten und Schleudermaschinen im Verein mit dem verstorbenen Philologen Robert Schneider so rekonstruiert, daß die Wirkung der antiken Artillerie, die uns von den Schriftstellern des Altertums berichtet wird, durch die modernen Nachbildungen erreicht wurde, die beste Probe auf das Exempel. Die Originale dieser Geschütze stehen auf der Saalburg, kleinere Modelle

sind hier im Zeughause aufgestellt. Den Dienst, den Generalmajor Schramm der Wissenschaft erwiesen, hat die Akademie durch Zuerkennung einer Leibniz-Medaille anerkannt.

Eine dritte Medaille hat sie Ihnen, Hr. Richard Irvine Best, zuerkannt. Ihre Arbeiten auf dem Gebiete der Keltologie sind allen Fachgenossen rühmlich bekannt. Seit Jahren haben Sie Ihre spärlichen Mußestunden auf die Erforschung der älteren irischen Literatur verwandt, unsere Kenntnisse durch zuverlässige Ausgaben sowie durch minuziöse Beschreibungen wichtiger Handschriften vermehrt und durch bibliographische Verzeichnisse erleichtert. Ihre Bibliography of Irish Philology hat einem lange gefühlten Bedürfnis in ausgezeichneter Weise abgeholfen. So hat die Berliner Akademie, in der sich die Keltologie seit dem Beginn dieses Jahrhunderts unseren übrigen Fächern als neuestes ebenbürtig zur Seite gestellt hat, Ihre ausgezeichneten Verdienste auf diesem Gebiete durch die Leibniz-Medaille anerkannt, und ich freue mich, sie Ihnen hier persönlich überreichen zu können.

Ausgegeben am 9. Juli.

Berlin, gedruckt in der Reichsdruckerei.

SITZUNGSBERICHTE

DER

KÖNIGLICH PREUSSISCHEN

AKADEMIE DER WISSENSCHAFTEN.

1914.

XXIX.

9. Juli. Gesammtsitzung.

Vorsitzender Secretar: Hr. Waldeyer.

*1. Hr. von Wilamowitz-Moellendorff sprach über die griechische Metrik.

Die Poesie ist älter als die Metrik, der Vers älter als der Fuss. Aber schon Homer hat den Hexameter nach Füssen gebaut. Das war die ionische Weise, die allmählich die ganze griechische Praxis und Theorie erobert hat. Das Ältere erkennen wir wesentlich dadurch, dass in der lesbischen Liederdichtung und danach in der Chorpoesie die Verse sich nicht alle auf Füsse zurückführen lassen. Aber diese Poesie verkümmert schon um 400. An ihre Stelle drängt sich die Kunstprosa, die auch rhythmisch sein will. Aber erst als in der Sprache die Quantität durch den Accent verdrängt ist, werden Zeilen von gleichviel Silben mit einigen festen Accenten gebaut und wird der Reim als Bindemittel verwandt. So entsteht aus der Kunstprosa die moderne Metrik.

2. Hr. Beckmann legte eine Arbeit der HH. Prof. Dr. Richard Willstätter und Heinrich Mallison in Berlin vor: Über die Verwandtschaft der Anthocyane und Flavone.

Die Reduction von Quercetin führt je nach den Bedingungen zu verschiedenen anthocyanartigen Producten; aus diesen ist Cyanidin isolirt worden, die Farbstoffcomponente des Anthocyans der Rose.

3. Hr. Norden überreichte den Bericht der Commission für den Thesaurus linguae Latinae über die Zeit vom 1. April 1913 bis 31. März 1914.

4. Die Akademie hat der Universität Groningen zur Feier ihres dreihundertjährigen Bestehens eine Adresse gewidmet und durch ihren Delegierten Hrn. Roethe überreichen lassen; dieselbe ist unten im Wortlaut abgedruckt.

5. Folgende Druckschriften wurden vorgelegt: H. Diels, Antike Technik (Leipzig und Berlin 1914) und K. Schuchhardt, Der Goldfund vom Messingwerk bei Eberswalde (Berlin 1914), beide von den Verfassern, ferner das von dem correspondirenden Mitglied Hrn.

Luschin von Ebengreuth in Graz eingesandte Werk: Handbuch der österreichischen Reichsgeschichte. 2. Aufl. Bd. 1 (Bamberg 1914).

6. Die Akademie hat Hrn. Dr. Paul Viktor Neugebauer in Berlin zur Erweiterung des ersten Heftes seiner Tafeln zur astronomischen Chronologie 450 Mark bewilligt.

Die Akademie hat in der Sitzung vom 18. Juni den ordentlichen Professor an der Universität St. Petersburg Michael Rostowzew und den ordentlichen Professor an der Universität Graz Bernhard Seuffert zu correspondirenden Mitgliedern ihrer philosophisch-historischen Classe gewählt.

Das correspondirende Mitglied der philosophisch-historischen Classe Georges Perrot in Paris ist am 30. Juni verstorben.

Über die Verwandtschaft der Anthocyane und Flavone.

Von Richard Willstätter und Heinrich Mallison.

(Mitteilung aus dem Kaiser-Wilhelm-Institut für Chemie in Berlin-Dahlem.
Vorgelegt von Hrn. Beckmann.)

Die Anthocyane bilden eine Klasse von Glukosiden, deren Farbstoffkomponenten vor kurzem als Derivate eines Phenylbenzopyryliums erkannt worden sind[1]. Die Analyse der zuckerfreien Derivate, der Anthocyanidine, und ihre Spaltung durch Alkalien in Phloroglucin und eine Phenolcarbonsäure ließ nur noch die Stellung des Phenylrestes im Pyrylium unbestimmt. Beispielsweise stehen die folgenden beiden Strukturformeln zur Wahl

I. II.

für das Chlorid des Cyanidins, welches in Verbindung mit zwei Molen Glukose das Anthocyan (Cyanin) der Kornblume sowie der Rose bildet und das mit einem Mol Galaktose verbunden als Farbstoff der Preiselbeere (Idäin) auftritt.

Als wir das Verhalten dieser Farbstoffe beim Erwärmen mit Alkalien genauer untersuchten, fanden wir es nicht in Einklang mit der Formel II eines 4-Phenylbenzopyryliums. Es war nicht möglich,

[1] R. Willstätter, Sitzungsber. d. Kgl. Preuß. Akad. d. Wiss. 1914, 402.

intermediär ein substituiertes Benzophenon zu erhalten, z. B. Maclurin aus Cyanidin, während nach der Formel II ein solches Zwischenprodukt des Zerfalls entstehen und ziemlich beständig sein sollte.

Wenn nun die Anthocyanidine den Flavon- und besonders den Flavonolfarbstoffen, z. B. dem Quercetin

derart nahestehen, wie es die Formel I des Cyanidins ausdrückt, so erwarten wir, bei der Oxydation eines Anthocyans zu einem der gelben Beizenfarbstoffe zu gelangen oder umgekehrt von einem Flavonole durch Reduktion zu einem Farbstoff der Anthocyangruppe.

Die Reduktion dieser gelben Pflanzenfarbstoffe bietet in der Tat eine merkwürdige Erscheinung, die auch seit langem Beachtung gefunden hat. Man erhält nämlich schön purpurrote Lösungen, die wirklich anthocyanähnlich sind. Ihre Bildung haben schon vor fünfzig Jahren W. Stein sowie H. Hlasiwetz und L. Pfaundler mit der Hypothese in Beziehung gebracht, daß die Anthocyane mit den gelben Pigmenten verwandt seien.

Die ersten Angaben über die Reduktion von Quercetin und Quercitrin sowie von Morin hat W. Stein[1] mitgeteilt. Eingehender waren die Versuche von H. Hlasiwetz und L. Pfaundler[2] über die roten Verbindungen, welche aus Morin und aus Quercetin in saurer Flüssigkeit bei der Einwirkung von Natriumamalgam oder Zink entstehen. Die Reduktionsprodukte waren aber so unbeständig, daß ihre Zusammensetzung nicht erkannt und für ihre Bildung keine richtige Erklärung gefunden wurde. Die von Hlasiwetz und Pfaundler isolierten Produkte sind nichts anderes gewesen als Morin und Quercetin selbst in unreinem Zustande. So entstand die Meinung, die roten Verbindungen seien Isomere der Ausgangsstoffe, die sich ohne Mitwirkung von Sauerstoff äußerst leicht in die gelben Farbstoffe zurückverwandeln.

Auch eine fünfzig Jahre später, nämlich vor wenigen Monaten, veröffentlichte Angabe von E. R. Watson und K. B. Sen[3] über Hydroquercetin hat zum Verständnis des Reduktionsproduktes nur wenig

[1] Journ. f. prakt. Chem. 85, 351, 368 (1862); 88, 280, 293 (1863); 89, 491 (1863).
[2] Sitzungsber. d. Wiener Akad. d. Wissensch., math.-naturw. Klasse 50, 6 (1864).
[3] Journ. Chem. Soc. 105, 389, 395 (1914).

beigetragen. Die bei der Reduktion erhaltene rote Lösung wurde mit Wasser gefällt; die ausgeschiedene Substanz, welcher die Zusammensetzung $C_{15}H_{12}O_7$ einer Dihydroverbindung zugeschrieben wird, soll sich sehr leicht wieder zu Quercetin oxydieren. In Wirklichkeit war wiederum unangegriffenes Quercetin in der Fällung enthalten. Da die reduzierte Lösung beim Verdünnen einen Niederschlag gibt und sich dabei aufhellt, so scheint das Reduktionsprodukt ausgefällt zu werden. Die Entfärbung der Flüssigkeit rührt aber davon her, daß das Farbsalz sich zur Pseudobase isomerisiert, welche in Lösung bleibt; zusammen mit dem Quercetin wird nur sehr wenig Farbstoff niedergeschlagen.

Auch eine Untersuchung des Botanikers R. Combes[1] hat vor kurzem die Reduktion eines allerdings nicht definierten gelben Farbstoffs behandelt und zu einem interessanten Ergebnis hinsichtlich der Beziehung zwischen den gelben Pflanzenfarbstoffen und den Anthocyanen geführt. Combes hat nämlich ein gelbbraunes Pigment aus den grünen Blättern von *Ampelopsis hederacea* durch Reduktion mit Natriumamalgam bei Gegenwart von Salzsäure in einen roten Farbstoff verwandelt, den er für identisch hält mit dem in den herbstlichen Blättern derselben Pflanze auftretenden Anthocyan; durch Wasserstoffsuperoxyd soll umgekehrt der rote Farbstoff in den gelben verwandelt werden. Es wäre zu wünschen, daß diese Mitteilung von Combes durch genauere Angaben, durch Analysen und chemische Kennzeichnung der Farbstoffe gestützt würden.

Die nämlichen Fragen hat vor einigen Monaten A. E. Everest in einer Abhandlung: »The Production of Anthocyanins and Anthocyanidins« behandelt[2]. Everest hat gewisse Hypothesen von Botanikern, die vom Gesichtspunkt der experimentellen Vererbungslehre die Bildung der Anthocyane aus gelben Farbstoffen zu erklären versuchen, geprüft und widerlegt. M. Wheldale[3] hatte die Auffassung vertreten, daß die Umwandlung der gelben in rote Farbstoffe bestehe

1. in der Spaltung der Glukoside in Zucker und farblose oder schwach farbige Chromogene,
2. in der Oxydation der letzteren zu Anthocyanen.

Nachdem Willstätter und Everest mit einer allgemein anwendbaren Reaktion die Glukosidnatur der Anthocyane nachgewiesen, zeigte nun

[1] Compt. rend. 157, 1002 und 1454 (1913).

[2] Proc. Royal Soc., B., 87, 444 (1914).

[3] Camb. Phil. Soc. Proc., 15, 137 (1909); Journ. Genetics, 1, 133 (1911); Biochem. Journ., 7, 87 (1913); M. Wheldale und H. Ll. Bassett, Proc. Royal Soc., B, 87, 300 (1914).

Everest weiterhin, daß die in den Extrakten verschiedener Blüten enthaltenen gelben Farbstoffe der Flavon- und Flavonolgruppe durch Reduktion rote Produkte liefern, die Everest für Anthocyane hält und die wenigstens anthocyanartig sind. Mit Recht stellt Everest fest, daß bei dieser Umwandlung der Zuckerrest nicht abgespalten wird[1]. Ferner zeigt Everest, daß weder Oxydation noch Reduktion mit darauffolgender Oxydation für den Übergang von den gelben zu den roten Farbstoffen erforderlich ist.

In dieser Untersuchung sind die bei den Reduktionsversuchen erhaltenen roten Lösungen beschrieben, aber es sind nicht die Reduktionsprodukte isoliert worden, und ihre Unterschiede gegenüber den Anthocyanen haben keine Beachtung gefunden. Die Eigentümlichkeiten der Reduktionsprodukte treten deutlicher als bei den Glukosiden zutage bei den zuckerfreien Farbstoffen; wir haben uns daher hauptsächlich mit der Reduktion des Quercetins beschäftigt. Es hat sich gezeigt, daß das Hauptprodukt der Reduktion verschieden ist vom entsprechenden Anthocyane, und das nämliche gilt für die roten Farbsalze, welche wir bei der Reduktion mehrerer Glukoside dieser Gruppe, z. B. Violaquercitrin, entstehen sehen.

Wenn die Reduktion in sauerer Lösung bei niederer Temperatur erfolgt, so entsteht eine tief blaurote Lösung, die beim Verdünnen mit Wasser oder sogar mit einprozentiger Salzsäure farblos wird. Dieser Unterschied von Cyanidin, dem das Reduktionsprodukt ähnlich ist in der Zusammensetzung und Farbe, ist ausschlaggebend; Cyanidin ist nämlich in sauerer Lösung beständig und liefert erst in sehr verdünnter, fast neutraler Lösung sein farbloses Carbinol. Nach der Entfärbung des Reduktionsproduktes wird nur durch Erwärmen mit etwa 15prozentiger Salzsäure rote Farbe wieder hervorgerufen, die aber in der Nuance etwas verändert ist.

Das Derivat des Quercetins ist sehr unbeständig; bei jeder Reinigungsoperation beginnt es Veränderungen zu erleiden, so daß seine Farbreaktionen weniger schön und klar werden. Es ist dennoch gelungen, die Substanz zu isolieren; sie ist nicht Dihydroquercetin, wie vermutet worden ist, sondern eine Oxoniumverbindung, die sich in ihrer Zusammensetzung vom Cyanidin durch ein Plus von zwei Wasserstoffatomen zu unterscheiden, also aus dem Quercetin durch Einwirkung

[1] Nur bei Quercitrin glaubt Everest eine Ausnahme zu finden, nämlich die Bildung eines zuckerfreien Farbstoffes, eines Anthocyanidins, bei der Reduktion. Aber dieser Befund ist irrtümlich. Die Glukosidgruppe bleibt auch in diesem Falle unversehrt. Das rote Monoglukosid verteilt sich zwischen Amylalkohol und verdünnter Säure in anderem Verhältnis als die Diglukoside der Anthocyanreihe; es steht nämlich zwischen diesen und den zuckerfreien Derivaten.

von vier Atomen Wasserstoff gebildet zu sein scheint. Wir vermuten, daß bei der Bildung dieses Farbsalzes, das Allocyanidin genannt werden soll, der Pyronring des Quercetins geöffnet wird, entsprechend den Formeln:

$$\xrightarrow{+2H_2} \qquad \xrightarrow{-H_2O}$$

Die Annahme der Ringsprengung bei der Reduktion erklärt die Verschiedenheit der reduzierten Flavonfarbstoffe von den bisher bekannten Blütenfarbstoffen, ferner die geringere Beständigkeit der ersteren und ihre schwächer basischen Eigenschaften. Daß auch ohne den Pyryliumring die rote Farbe möglich ist, zeigt uns das Beispiel des Maclurins. Dieses, ein Pentaoxybenzophenon, liefert bei der Reduktion in saurer Lösung eine gleichfalls cyanidinähnliche Oxoniumverbindung, die nichts anderes sein kann als ein Salz des betreffenden Benzhydrols, eines Analogen des MICHLERschen Hydrols.

Allocyanidinchlorid.

Um das empfindliche Farbsalz unversehrt zu erhalten, ist es erforderlich, die Reduktion in stark saurer Lösung auszuführen; sei es, daß man mit Natriumamalgam oder mit Magnesium arbeitet, gibt man zweckmäßig von vornherein in die Flüssigkeit eine große Menge Quecksilber, an dessen Oberfläche die Reduktion sich abspielt. Wir vermischen z. B. die Lösung von 2 g Quercetin in 100 ccm Alkohol mit 50 ccm 20prozentiger Salzsäure und fügen 250 g Quecksilber hinzu; dann tragen wir bei höchstens 0° unter Umschütteln 1 g Magnesium im Verlaufe von 20 Minuten ein. Die Flüssigkeit wird intensiv blaurot. Um unangegriffenes Quercetin zu beseitigen, verdünnt man mit weiteren 50 ccm 20prozentiger Säure und schüttelt bei tiefer Temperatur mit viel Äther aus. Dann wird das Allocyanidinchlorid durch Vermischen der Flüssigkeit mit dem gleichen Volumen eiskalter 20prozentiger Salzsäure ausgefällt. Es bildet ein braunschwarzes Pulver, das beim Reiben grünen Metallglanz zeigt und dessen Strich violettrot ist.

Durch Auflösen in wenig Alkohol und Eintragen in starke Salzsäure läßt sich das Farbsalz umscheiden. Es wird mikrokristallinisch; man bemerkt unter dem Mikroskop stenglige, verzweigte Aggregate, auch öfters Büschel violettroter Nädelchen.

Schon beim Trocknen an der Luft verliert das Allocyanidinchlorid einen Teil der Salzsäure, einen weiteren beim Erwärmen im Vakuum; die Analyse des bei 105° getrockneten ist daher auf chlorwasserstofffreie Substanz umzurechnen.

0.1507 g gaben 0.3289 g CO_2 und 0.0520 g H_2O
0.1225 g (von demselben Präparat) gaben 0.0231 g AgCl

Ber. für $C_{15}H_{12}O_6$	Gefunden
C 62.50	62.52
H 4.17	4.06

Das Allocyanidinchlorid ist in kaltem Wasser unlöslich. Beim Erwärmen mit Wasser löst es sich einen Augenblick mit roter Farbe und wird dann sofort entfärbt, auch rasch beim Erhitzen mit verdünnter Salzsäure und schon bald beim Stehen in kalter verdünnter, z. B. ½ prozentiger Säure. Beim Erhitzen mit 15 prozentiger oder konzentrierterer Salzsäure wird die entfärbte Lösung wieder rot, und beim Verdünnen wird die Flüssigkeit von neuem entfärbt.

In ½ prozentiger Salzsäure löst sich Allocyanidin leicht, während Cyanidin darin schwer löslich ist; in 1 prozentiger Salzsäure ist hingegen Allocyanidin ebenso schwer löslich wie Cyanidin. Mit Soda gibt das Reduktionsprodukt, wenn es rein ist, eine schön kornblumenblaue Farbe; die Reaktion mit Eisenchlorid ist violettblau, mit Alaun violett.

Die Unterschiede vom Cyanidin werden in der folgenden Tabelle verzeichnet:

	Allocyanidinchlorid	Cyanidinchlorid
Farbe in Alkohol	blaustichig rot	rot
Löslichkeit in ½ prozentiger Salzsäure	in der Kälte leicht löslich	in der Kälte schwer löslich
In verdünnter Salzsäure . .	schnell entfärbt	beständig
Beim Trocknen	verliert Chlorwasserstoff	verliert Chlorwasserstoff nicht

Wichtiger als die Untersuchung des Allocyanidins war die Beobachtung, daß die Reduktion des Quercetins in mehrere Richtungen geleitet werden kann. Bei mittlerer Temperatur entsteht neben dem Allocyanidin, das auch hier als Hauptprodukt auftritt, ein zweites rotes Farbsalz, welches in sauerer Lösung beständig ist. Dieses Nebenprodukt hat sich als identisch erwiesen mit dem Cyanidin. Seine Bildung wird durch folgende Gleichung ausgedrückt:

Reduktion von Quercetin zu Cyanidinchlorid.

Schon im Reagenzglase beobachtet man, daß die Reduktion bei 35° zum Teil einen andern Verlauf nimmt als in der Kälte. Die intensiv rote Lösung wird beim Verdünnen mit Salzsäure oder mit Wasser zwar auch stark aufgehellt, aber nicht entfärbt. Wir haben das in saurer Lösung beständige Farbsalz nach der Beseitigung von unangegriffenem Quercetin mit Hilfe von Äther colorimetrisch bestimmt durch Vergleich mit Cyanidinchlorid. Zu diesem Zweck wurde die Flüssigkeit mit 1 prozentiger Salzsäure stark verdünnt und zur Zerstörung von Allocyanidin kurz gekocht. Die Bestimmung, nur annähernd genau wegen des etwas bräunlichen Farbtones der Lösung, ergab eine Ausbeute von etwa 4 Prozent Cyanidin. An reinen Kristallen haben wir bei vielen Versuchen nur etwa ½ Prozent isoliert, 0.165 g mehrmals umkristallisierte Substanz aus 33 g Quercetin[1].

Wir lösen 2 g Quercetin in 100 ccm warmem Alkohol, fügen 75 bis 100 ccm 7 prozentige Salzsäure und 300 g Quecksilber hinzu; dann tragen wir 40 g 4 prozentiges Natriumamalgam oder 1 g Magnesium ein und halten die Temperatur dabei auf 35°. Die Flüssigkeit wird anfangs schön blaurot, dann wird infolge des Verderbens von Allocyanidin die Nuance mehr bräunlich. Von der filtrierten Lösung dampfen wir an der Pumpe gegen 100 ccm ab, und zwar bei etwa 40°, damit Allocyanidin fast gänzlich zerstört wird. Seine Zersetzungsprodukte bleiben noch in Lösung, während Quercetin in Nadeln ausfällt zusammen mit Cyanidinchlorid, das sich unter dem Mikroskope in kugligen Gebilden von dunkler Farbe zeigt. Dieses Gemisch wird in wenig Alkohol aufgenommen und mit 600 ccm Äther gefällt. Der in Flocken ausgeschiedene Farbstoff ist nun frei von Quercetin, enthält aber noch Spuren von Allocyanidin. Er ließ sich durch kurzes Erhitzen mit 4 prozentiger Salzsäure reinigen; beim Stehen in der Kälte kristallisierte das Cyanidchlorid in Nädelchen, die nochmals aus Salzsäure umkristallisiert wurden. Dann war das Präparat

[1] Das angewandte Quercetin war vollkommen rein. Wir zerlegten es beim Umkristallisieren in zahlreiche Fraktionen; jede derselben lieferte die nämliche Menge von Cyanidin.

rein; die glänzenden langgestreckten Kristalle stimmten in Form und Farbe, in den Löslichkeitsverhältnissen und im gesamten Verhalten überein mit dem aus der Kornblume, der Rose und der Preiselbeere gewonnenen Cyanidinchlorid.

0.1563 g verloren im Hochvakuum bei 105° 0.0087 g H_2O

Ber. für $C_{15}H_{11}O_6Cl \cdot H_2O$	Gefunden
H_2O 5.29	5.56

0.1433 g gaben 0.2924 g CO_2 und 0.0456 g H_2O

Ber. für $C_{15}H_{11}O_6Cl$	Gefunden
C 55.81	55.65
H 3.41	3.56

Die Bildung von Cyanidin aus Quercetin hat zweifache Bedeutung. Es ist dadurch eine Synthese von Cyanidin ausgeführt, da das Quercetin selbst vor zehn Jahren von St. von Kostanecki, V. Lampe und J. Tambor[1] synthetisch dargestellt worden ist. Ferner wird durch diese Umwandlung die Konstitutionsformel des Cyanidins bewiesen, und es werden die entsprechenden Formeln für die ihm nahestehenden anderen Anthocyanidine, nämlich Pelargonidin und Delphinidin, sehr wahrscheinlich gemacht:

Cyanidinchlorid Pelargonidinchlorid Delphinidinchlorid

Eine Anzahl weiterer Anthocyanidine leitet sich von diesen durch Eintritt eines Methyls oder mehrerer Methyle ab, und es bleibt nur der Ort der Methylgruppen zu bestimmen. Dies ist bereits von Willstätter gemeinsam mit Zollinger, Mieg und Martin für einige Methylderivate des Delphinidins versucht worden, nämlich für das Önidin aus der Weintraube, für das Myrtillidin aus der Heidelbeere und der Stockrose, und für das Malvidin aus der Waldmalve:

Myrtillidinchlorid Önidinchlorid Malvidinchlorid

[1] Ber. d. D. Chem. Ges. 37, 1402 (1904).

Die Anthocyane stehen daher zu den gelben Farbstoffen der Flavongruppe in folgender Beziehung: ein Anthocyanidin in seiner säurefreien Form ist isomer mit demjenigen Flavonderivat, das in einem Benzolkern um ein Sauerstoffatom ärmer ist. Die Flavone und Flavonole enthalten das Pyrylium in oxydiertem Zustand. In den Gruppen der Flavonderivate und der Anthocyane sind daher nicht die Isomeren die nächsten Verwandten, sondern die um ein Sauerstoffatom verschiedenen Farbstoffe mit übereinstimmender Substitution in den Benzolresten, also Pelargonidin und Kämpferol, Cyanidin und Quercetin, Delphinidin und Myricetin.

Bericht der Kommission für den Thesaurus linguae Latinae über die Zeit vom 1. April 1913 bis 31. März 1914.

Von Eduard Norden.

In der Frühjahrssitzung der Thesauruskommission am 16. April 1914 (in München) fehlte zum ersten Male Hr. Leo, dessen am 15. Januar 1914 erfolgter Tod auch für das Thesaurusunternehmen einen unersetzlichen Verlust bedeutet. An seiner Stelle nahm als Vertreter Göttingens diesmal Hr. Wendland teil; Hr. Brugmann (Leipzig) war durch Hrn. Heinze vertreten; Hr. Diels war amtlich verhindert zu erscheinen.

Einen Gegenstand der Beratung bildete — außer anderem Geschäftlichen, darunter die Schaffung zweier gehobener Assistentenstellen — auch die Frage, ob sich eine prinzipielle Verkürzung der Artikel werde ermöglichen lassen, um den in Aussicht genommenen Abschluß des Unternehmens im Jahre 1930 sicherzustellen. Auch wurde, um möglichste Gleichmäßigkeit der Artikel zu erzielen, ein Entwurf zu einer Instruktion für die Artikelbearbeiter durchberaten.

Die Verhandlungen mit den beteiligten Regierungen zum Zwecke der weiteren Sicherungen ihrer Beiträge über das Jahr 1914 hinaus haben sehr erfreulichen Fortgang genommen; es darf als sicher betrachtet werden, daß sämtliche in der Kommission vertretenen gelehrten Gesellschaften in der Lage sein werden, ihre Beiträge bis zum Jahre 1930 weiter zu entrichten.

Der Finanzplan für 1914 wird wie folgt festgesetzt:

Einnahmen.

Beiträge der fünf Akademien	30000	Mark,
Sonderbeiträge von Berlin und Wien, je 1000 Mark .	2000	»
Beitrag der Wissenschaftlichen Gesellschaft zu Straßburg	600	»
Giesecke-Stiftung 1914	5000	»
Zinsen, rund	150	»
Honorar für 70 Bogen	11260	»
Stipendien des Kgl. Preußischen Ministeriums . . .	2400	»
Beiträge Hamburg	1000	»
» Württemberg	700	»
» Baden	600	»
Summa	53710	Mark.

Ausgaben.

Gehälter des Bureaus	37900	Mark,
Laufende Ausgaben	3500	»
Honorar für 70 Bogen	5600	»
Verwaltung (einschließlich Heizung, Hilfsarbeiter, Material- und Namenordnung)	4000	»
Exzerpte und Nachträge	1000	»
Konferenz- und Druckkosten	600	»
Unvorhergesehenes	500	»
Summa	53100	»

Im Jahre 1913 betrugen

die Einnahmen	55942.96	Mark,
die Ausgaben	55765.24	»
Überschuß	177.72	Mark.

Unter den Ausgaben sind verrechnet 7000 Mark, die als Rücklage für den Sparfonds verwendet worden sind.

Die als Reserve für den Abschluß des Unternehmens vom Buchstaben P an bestimmte Wölfflin-Stiftung betrug am 1. Januar 1914 59020.97 Mark.

Bestand des Thesaurusbureaus am 31. März 1914:

Generalredaktor Dr. Dittmann, Sekretäre Prof. Dr. Hey und Dr. Bannier.

Assistenten: DDr. Gudeman, Wulff, Reisch, Sigwart, Schwering, Hofmann, Tafel, Rubenbauer, Becker, Lang, Nelz, Fraenkel, cand. phil. Bauer.

Beurlaubte Oberlehrer außer dem obengenannten Dr. Dittmann (von Preußen): Pflugbeil (von Sachsen), Dr. Lackenbacher (von Österreich).

Adresse an die Universität Groningen zur Feier des dreihundertjährigen Bestehens. 29. Juni—1. Juli 1914.

An dem schönen Feste, durch das die Universität Groningen ein dreihundertjähriges rühmliches Dasein zu feiern gedenkt, reich an stolzen Namen und fruchtbaren Leistungen, nimmt die Königlich Preußische Akademie der Wissenschaften lebhaften Anteil. Sie hat nicht vergessen, daß zu ihren ältesten auswärtigen Mitgliedern mehrere ausgezeichnete Groninger Gelehrte gehörten, darunter Johann Bernouilli, der bedeutende Naturforscher und Mathematiker, Leibnitzens berühmter Freund, der sogar an dem ersten Bande der akademischen Schriften mitgewirkt hat.

Die Preußische Akademie hat an sich selbst und an der ihr nahe verbundenen Friedrich-Wilhelms-Universität erfahren, wie dem gesunden Volke gerade aus der Not des Vaterlandes eine bewundernswerte Steigerung der geistigen Kräfte erwächst. Die Begründung der Universität Groningen leitet uns in gleiche Erlebnisse der Niederlande. Hat doch der todesmutige Freiheits- und Glaubenskampf, den die vereinigten Provinzen gegen eine Weltmacht durchrangen, jene hohe Blüte auch der Kunst und Wissenschaft heraufgeführt, die das kleinere Land im siebzehnten Jahrhundert mit einem geistigen Reichtum rüstete, wie er Deutschland damals in vielem hinter sich ließ. Die Stifter der Universität Groningen bekannten sich mit vollem Bewußtsein zu der Überzeugung, daß der Jugend gezieme, für beide Kriegsschauplätze kampfgeschult zu sein, armis et literis für das Vaterland zu streiten. Und ihr erster Rektor, der zugleich warmherzige und kritische Geschichtsschreiber Frieslands, Ubbo Emmius, verkörpert jene Liebe zur engern Heimat, die von ihrem festen Boden aus starke Anregungen auch ins Weite senden konnte. Wir denken in dieser Stunde gerne des reichen, wertvollen Austausches, der Groningens junge Hochschule einst, nehmend und gebend, so eng mit deutscher Wissenschaft verband, daß dort jahrzehntelang deutsche Lehrer und Hörer wenig zurückstanden hinter den einheimischen.

Dies enge Band konnte so nicht dauern. Aber wenn wir heute der Universität Groningen für ihr viertes Jahrhundert unsre guten Wünsche mitgeben, so verflechten wir mit ihnen die Hoffnung, daß diese ehrwürdige Hochschule sächsisch-friesischer Lande der deutschen Wissenschaft auch für die Zukunft etwas von jener näheren nachbarlichen Vertrautheit bewahren möge, die sich in ihren Anfängen so erfolgreich bewährte.

Die Königlich Preußische Akademie der Wissenschaften.

Über den Lambertschen Satz und die Planetenbahnbestimmung aus drei Beobachtungen.

Von Prof. Dr. Theodor Vahlen
in Greifswald.

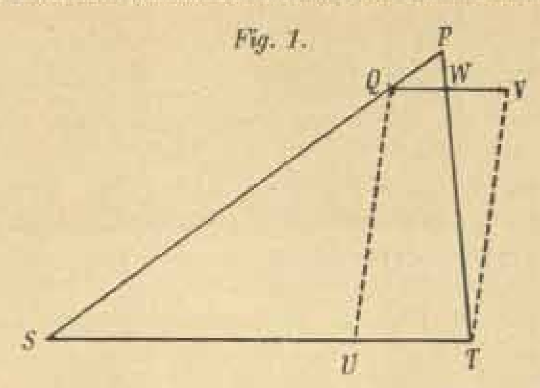
(Vorgelegt von Hrn. Struve am 25. Juni 1914 [s. oben S. 713].)

In dem Problem der Bahnbestimmung aus drei Beobachtungen muß man zwei Teile unterscheiden: der erste ist die Auffindung, der zweite die Verbesserung der heliozentrischen Distanzen. Der zweite hat nach Gauss keine wesentliche Vervollkommnung mehr erfahren. Der erste beruht auf einer Gleichung achten Grades, die in verschiedener Weise bei Lagrange, Laplace und Gauss auftritt, deren eigentliches Wesen aber trotz der verschiedenen Formen mit wenigen Ausnahmen bisher nicht deutlich erkannt zu sein scheint. Die üblichen Herleitungen dieser Gleichung bestehen nämlich in einer Reihe von Eliminationen, durch die die unnötig eingeführten Größen später wieder entfernt werden. Demgegenüber folgt hier eine Herleitung, die von vornherein nur die in der Endgleichung vorkommenden Größen benutzt und die überdies dadurch noch besonders einfach wird, daß sie eine neue, sehr naturgemäße Größe, die scheinbare Beschleunigung, verwendet. An deren Stelle stehen in den früheren Formen dieser Gleichung Ausdrücke, die aus einer Anzahl anderer Größen mehr oder weniger einfach zusammengesetzt sind. Durch die Einführung der scheinbaren Beschleunigung tritt die besagte Gleichung in ganz unmittelbare Beziehung zum Lambertschen Satze, der demnach als ein erster Ansatz zum Bahnbestimmungsproblem anzusehen ist; wie dies auch schon Bruns hervorhebt[1].

Es seien (Fig. 1) S, P, T Sonne, Planet, Erde zur Zeit t; ferner PQ die Beschleunigung des Planeten gegen die Sonne, $TU \# QV$ die der Erde gegen die Sonne, also PV die relative, geozentrische Beschleunigung des Planeten, $\angle\, PTV = \varphi$ die scheinbare Beschleunigung des Planeten. Ist $PS = TS$, so ist auch $PQ = QV$, also die scheinbare Beschleunigung Null; dasselbe ist der Fall, wenn die Be-

[1] Astr. Nachr. 118 (1888) S. 241.

Fig. 1.



schleunigung der Entfernung proportional ist: $\frac{PQ}{SP} = \frac{QV}{ST}$. Entspricht aber, wie beim NEWTONschen Gesetze, der größeren Entfernung der kleinere Quotient »Beschleunigung durch Entfernung«, so folgt aus $SP \gtrless ST$ bzw. $\frac{QW}{ST} = \frac{QP}{SP} \lessgtr \frac{QV}{ST}$, d. h. $QW \lessgtr QV$, d. h. die scheinbare Beschleunigung ist bzw. von der Sonne fort oder gegen die Sonne hin gerichtet. Dieser Satz ist gewissermaßen die kinematische Form des LAMBERTschen Satzes, der sofort daraus folgt:

Die scheinbare Bahn des Planeten ist konvex oder konkav gegen die Sonne, je nachdem seine Entfernung von der Sonne größer oder kleiner als die Entfernung der Erde von der Sonne ist.

Die gegebene Herleitung des LAMBERTschen Satzes zeichnet sich nicht nur vor allen anderen durch Einfachheit und Unmittelbarkeit aus, sondern läßt auch alle Anziehungsgesetze erkennen, bei denen der LAMBERTsche Satz gilt; das kommt für die versuchten Modifikationen des NEWTONschen Gesetzes in Betracht. Die Herleitung läßt ferner erkennen, daß bei jedem Anziehungsgesetz, bei welchem der LAMBERTsche Satz gilt, der Satz zu gelten fortfährt, wenn man noch die Beschleunigung des Planeten gegen die Erde berücksichtigt, wie es bei Kometen nötig werden kann. Denn durch Hinzukommen einer Komponente in Richtung PT ändert sich zwar die relative Beschleunigung PV und auch die scheinbare $\angle PTV$, aber diese bleibt unverändert heliopetal bzw. heliofugal.

Für das elastische Anziehungsgesetz: Beschleunigung proportional der Entfernung, und nur für dieses, ergibt sich noch, daß die scheinbare Bahn »gradlinig« erscheint. Dieser bisher unbemerkte Satz folgt natürlich auch sofort aus der Darstellung der Koordinaten von P und T als lineare Formen von $\cos t$ und $\sin t$ (bei zweckmäßiger Wahl der Zeiteinheit). Überhaupt ist die relative Bahn von P in bezug auf T von derselben Art wie von P in bezug auf S.

Im Lambertschen Satz wird der Sinn der scheinbaren Beschleunigung oder der scheinbaren Krümmung in Beziehung gesetzt zu dem »größer« oder »kleiner« zwischen den Entfernungen $SP = r$ des Planeten und $ST = R$ der Erde von der Sonne. Wir suchen den funktionalen Zusammenhang zwischen diesen Größen. Setzen wir noch die Winkel $STP = \hat{r}$ und $SPT = \hat{R}$, so ergibt der Sinussatz für die beiden Dreiecke SPT, SQU sofort:

$$\frac{1 - \frac{TU}{R}}{1 - \frac{PQ}{r}} = \frac{\sin(\hat{R} - \varphi)}{\sin(\hat{r} + \varphi)} \cdot \frac{\sin \hat{r}}{\sin \hat{R}}. \tag{1.}$$

Es werde nun der Einfachheit halber die Zeiteinheit so gewählt, daß die Gausssche Konstante k gleich Eins wird, daß also die Beschleunigung gleich dem reziproken Entfernungsquadrat wird. Wir bezeichnen Differentiationen nach der Zeit durch Punkte und mit φ die totale scheinbare Beschleunigung im kleinen Zeitintervall Δt, also die Größe $\Delta^2 \hat{r}$. Dann wird $PQ = (\Delta t)^2 \cdot \ddot{r}$, $TU = (\Delta t)^2 \cdot \ddot{R}$ und die Gleichung (1.) ergibt:

$$\frac{1 - \frac{\Delta t^2 \cdot \ddot{R}}{R}}{1 - \frac{\Delta t^2 \cdot \ddot{r}}{r}} = \frac{\sin(\hat{R} - \varphi)}{\sin \hat{R}} : \frac{\sin(\hat{r} + \varphi)}{\sin \hat{r}};$$

entwickelt man links nach Δt^2, rechts nach $\varphi = \Delta^2 \hat{r}$, so kommt:

$$1 - \Delta t^2 \left(\frac{\ddot{R}}{R} - \frac{\ddot{r}}{r} \right) + \cdots = \frac{1 - \operatorname{cotg} \hat{R} \cdot \Delta^2 \hat{r} + \cdots}{1 + \operatorname{cotg} \hat{r} \cdot \Delta^2 r + \cdots} = 1 - \Delta^2 \hat{r} \cdot \operatorname{cotg} (\hat{R} + \operatorname{cotg} r) + \cdots$$

also durch Übergang zur Grenze $\Delta t = 0$:

$$\frac{\ddot{R}}{R} - \frac{\ddot{r}}{r} = \ddot{\hat{r}} \cdot (\operatorname{cotg} \hat{R} + \operatorname{cotg} \hat{r}). \tag{2.}$$

Diese Formel liefert natürlich für die oben charakterisierten Anziehungsgesetze sofort den Lambertschen Satz, daß aus

$$r \lesseqgtr R \quad \text{folgt} \quad \ddot{\hat{r}} \lesseqgtr 0.$$

Sie liefert ferner, angewandt auf einen Beobachter auf dem Planeten, bei jedem Anziehungsgesetz:

$$\ddot{\hat{R}} = -\ddot{\hat{r}},$$

was auch geometrisch klar ist. Infolgedessen kann die Gleichung (2.) noch symmetrischer so geschrieben werden:

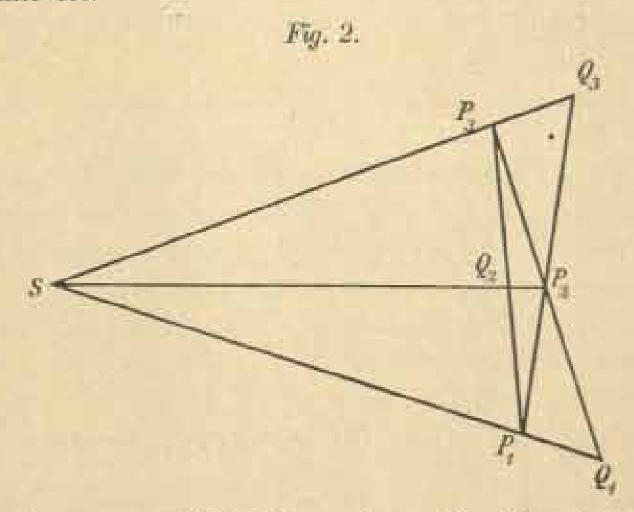
$$\frac{\ddot{R}}{R}+\frac{\ddot{\widehat{R}}}{tg\,\widehat{R}}=\frac{\ddot{r}}{r}+\frac{\ddot{\widehat{r}}}{tg\,\widehat{r}}.$$

Es ist bemerkenswert, daß $\ddot{\widehat{r}}$ nur von dem momentanen Dreieck SPT abhängt, obwohl ein solches Dreieck zu sehr verschiedenen Bahnen gehören kann. Vermittels $\frac{R}{r}=\frac{\sin\,\widehat{R}}{\sin\,\widehat{r}}$ ergibt die Gleichung für den Newtonschen Fall

$$\frac{1}{R^3}-\frac{1}{r^3}=\ddot{\widehat{r}}\cdot(\text{cotg}\,\widehat{R}+\text{cotg}\,\widehat{r}) \qquad (3.)$$

eine Gleichung 8ten Grades für r oder für $\sin\widehat{R}$. Die Entfernung r zur Zeit t ist also bekannt, wenn die scheinbare Beschleunigung $\ddot{\widehat{r}}$ zur Zeit t bekannt ist.

Fig. 2.



Wir suchen nun zunächst die wahren Beschleunigungen $\ddot{r}_1, \ddot{r}_2, \ddot{r}_3$ aus drei wahren Örtern P_1, P_2, P_3, die den Zeiten t_1, t_2, t_3 entsprechen, approximativ zu ermitteln. Dabei setzen wir wie üblich voraus, daß die Differenzen der Zeiten:

$$t_3-t_2=\vartheta_1 \quad , \quad t_3-t_1=\vartheta_2 \quad , \quad t_2-t_1=\vartheta_3$$

klein sind und infolgedessen nach der Olbersschen Annahme sich die Dreiecke (Fig. 2):

$$P_2SP_3 \quad , \quad P_1SP_3 \quad , \quad P_1SP_2$$

wie die entsprechenden Sektoren, also nach dem zweiten Keplerschen Satze wie die Intervalle

$$\vartheta_1 \quad , \quad \vartheta_2 \quad , \quad \vartheta_3$$

verhalten. Mit r_1, r_2, r_3 seien jetzt die Vektoren SP_1, SP_2, SP_3 bezeichnet.

Mit Hilfe der Taylorschen Formeln, auf deren vektorielle Auffassung Möbius[1] hinwies:

$$r_1 = r_2 + \dot{r}_2 (t_1 - t_2) + \frac{1}{2} \ddot{r}_{2,1} \cdot (t_1 - t_2)^2$$

$$r_3 = r_2 + \dot{r}_2 (t_3 - t_2) + \frac{1}{2} \ddot{r}_{2,3} \cdot (t_3 - t_2)^2$$

wird der Eulersche Ausdruck:

$$\frac{r_1}{(t_2 - t_1)(t_3 - t_1)} + \frac{r_2}{(t_1 - t_2)(t_3 - t_2)} + \frac{r_3}{(t_1 - t_3)(t_2 - t_3)}$$

$$\text{gleich } \frac{1}{2} \ddot{r}_{1,2} \cdot \frac{t_2 - t_1}{t_3 - t_1} + \frac{1}{2} \ddot{r}_{2,3} \cdot \frac{t_3 - t_2}{t_3 - t_1} = \frac{1}{2} \ddot{r}_{1,2,3},$$

wenn mit $\ddot{r}_{1,2}, \ddot{r}_{2,3}, \ddot{r}_{1,2,3}$ Mittelwerte zwischen bzw. $\ddot{r}_1, \ddot{r}_2, \ddot{r}_3$ bezeichnet werden. Andrerseits läßt sich derselbe Ausdruck in jeder der drei Formen schreiben:

$$\frac{\dfrac{r_1 \vartheta_1 + r_3 \vartheta_3}{\vartheta_2} - r_2}{\vartheta_1 \vartheta_3} = \frac{SQ_2 - SP_2}{\vartheta_1 \vartheta_3} = \frac{P_2 Q_2}{\vartheta_1 \vartheta_3}$$

$$\frac{r_1 - \dfrac{r_2 \vartheta_2 - r_3 \vartheta_3}{\vartheta_1}}{\vartheta_2 \vartheta_3} = \frac{SP_1 - SQ_1}{\vartheta_2 \vartheta_3} = \frac{Q_1 P_1}{\vartheta_2 \vartheta_3}$$

$$r_3 - \frac{r_2 \vartheta_2 - r_1 \vartheta_1}{\vartheta_1 \vartheta_2} = \frac{SP_3 - SQ_3}{\vartheta_1 \vartheta_2} = \frac{Q_3 P_3}{\vartheta_1 \vartheta_2}.$$

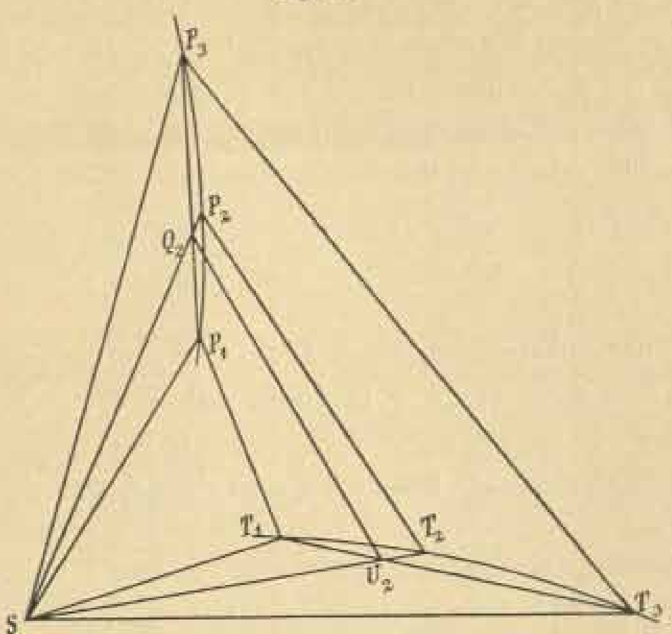
Demnach hat man angenähert für jede Zentralbewegung:

$$\frac{1}{2} \ddot{r}_1 \vartheta_2 \vartheta_3 = Q_1 P_1 \quad , \quad \frac{1}{2} \ddot{r}_2 \vartheta_1 \vartheta_3 = P_2 Q_2 \quad , \quad \frac{1}{2} \ddot{r}_3 \vartheta_1 \vartheta_2 = Q_3 P_3. \quad (4.)$$

Wir suchen jetzt eine angenäherte Darstellung der scheinbaren Beschleunigungen aus drei scheinbaren Örtern. Es seien (Fig. 3) $T_1, T_2, T_3, P_1, P_2, P_3$ die drei Örter der Erde und des Planeten zu den Zeiten t_1, t_2, t_3; ferner U_1, U_2, U_3 die Schnitte von bzw. R_1, R_2, R_3 mit $T_2 T_3$, $T_1 T_3$, $T_1 T_2$. Nimmt man $P_2 Q_2$ und $T_2 U_2$ als angenäherte Werte von $\frac{1}{2} \ddot{r}_2 \cdot \vartheta_1 \vartheta_3$ und $\frac{1}{2} \ddot{R}_2 \vartheta_1 \vartheta_3$, so ist der Winkel zwischen $T_2 P_2$ und $U_2 Q_2$ (s. auch Fig. 1) ein angenäherter Wert von $\frac{1}{2} \ddot{r}_2 \cdot \vartheta_1 \vartheta_3$. Es kommt also

[1] Lpz. Berichte I (1846) S. 79. Ges. Werke Bd. IV, S. 625.

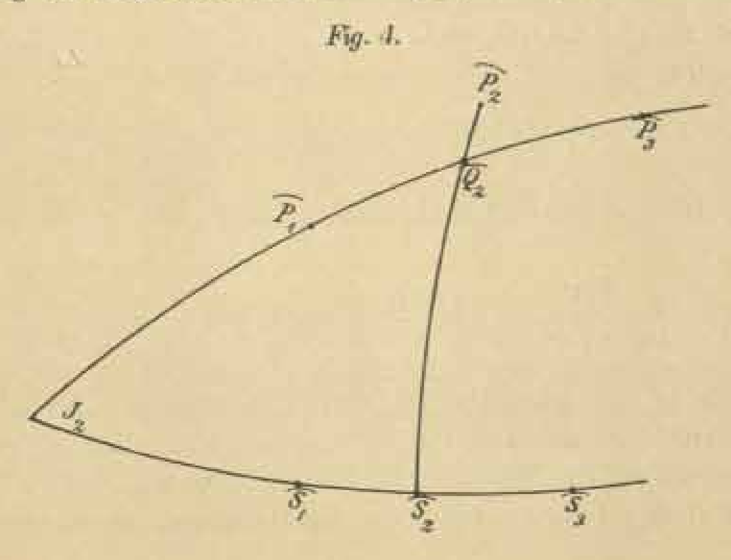

Fig. 3.



nur noch auf die Ermittlung dieses Winkels und der beiden entsprechenden an.

Nun sind nach der Olbersschen Annahme $T_1 U_2 T_3$ und $P_1 Q_2 P_3$ annähernd proportional geteilte Strecken, also $T_1 P_1$, $U_2 Q_2$, $T_3 P_3$ annähernd einer Ebene parallel, wodurch die Richtung von $U_2 Q_2$ annähernd bekannt ist. Sind jetzt in Fig. 4 $\widehat{P}_1 \widehat{P}_2 \widehat{P}_3 \widehat{S}_1 \widehat{S}_2 \widehat{S}_3$ die drei scheinbaren Planeten- und Sonnenörter auf der geozentrischen Himmelskugel, so wird demnach die Richtung von $T_2 P_2$ durch den Punkt $\widehat{P}_2$, die Richtung von $U_2 Q_2$ durch den Punkt $\widehat{Q}_2$ geliefert, Schnitt des größten

Fig. 4.



Kreises $\overline{P_1P_3}$ und des größten Kreises $\overline{S_2P_2}$. Der gesuchte Winkel zwischen T_2P_2 und U_2Q_2 ist also angenähert gleich dem Bogen $\overline{P_2Q_2}$. Führt man mit Encke den Winkel J_2 von $\overline{P_1Q_2P_3}$ mit der Ekliptik $\overline{S_1S_2S_3}$ und die Länge von dessen Scheitel mit K_2, die Längen der Sonne mit L_1, L_2, L_3 ein, so liefert der Sinussatz

$$\frac{\sin J_2}{\sin \overline{S_2Q_2}} = \frac{\sin \widehat{P_3}\widehat{Q_2}\widehat{P_2}}{\sin (L_2-K_2)} = \frac{\sin \iota_2}{\sin \overline{Q_2P_2}} : \sin (L_2-K_2),$$

wo mit ι_2 das sphärische Lot von $\hat{P}_2$ auf $\overline{P_1P_3}$ bezeichnet ist. Wegen $\overline{S_2Q_2} = \overline{S_2P_2} - \overline{P_2Q_2} = \hat{r}_2 - \overline{P_2Q_2}$ ergibt sich jetzt

$$\operatorname{cotg} \overline{P_2Q_2} = \operatorname{cotg} \hat{r}_2 + \frac{\sin J_2}{\sin \iota_2} \cdot \frac{\sin (L_2-K_2)}{\sin \hat{r}_2} \tag{5.}$$

zur Bestimmung von $\overline{P_2Q_2}$. Nachdem man ebenso $\overline{P_1Q_1}$ und $\overline{P_3Q_3}$ ermittelt hat, ergeben sich angenäherte Werte von $\ddot{r}_1, \ddot{r}_2, \ddot{r}_3$ aus:

$$\frac{1}{2}\ddot{r}_1\vartheta_2\vartheta_3 = \overline{Q_1P_1} \quad , \quad \frac{1}{2}\ddot{r}_2\vartheta_1\vartheta_3 = \overline{P_2Q_2} \quad , \quad \frac{1}{2}\ddot{r}_3\vartheta_1\vartheta_2 = \overline{Q_3P_3}. \tag{6.}$$

Die so gefundenen Werte in die für die drei Zeiten t_1, t_2, t_3 zu bildende Gleichung (3.) eingesetzt, ergeben drei Gleichungen 8ten Grades für bzw. r_1, r_2, r_3. Die mittelste dieser drei Gleichungen ist dem Inhalte nach von den Gleichungen nicht wesentlich verschieden, die Lagrange, Laplace und Gauss zu demselben Zweck aufgestellt haben. Die Vereinfachung in der hier gegebenen Herleitung beruht vor allem in der Einführung der scheinbaren Beschleunigung $\ddot{r}$. Am nächsten kommt der Gleichung (3.) die Gleichung von Laplace, die in unserer Bezeichnung lautet:

$$K_2 \cdot \dot{r}_2^2 \cdot P_2T_2 = R_2 \sin \hat{r}_2 \cdot \sin \dot{r}_2, \overline{P_2S_2} \cdot \left\{\frac{1}{R_2^3} - \frac{1}{r_2^3}\right\},$$

wenn K_2 die scheinbare Bahnkrümmung in P_2 ist. Schreibt man die Gleichung:

$$\frac{K_2\dot{r}_2^2}{\sin \dot{r}_2, \overline{P_2S_2}} \cdot (\operatorname{cotg} \hat{R}_2 + \operatorname{cotg} \hat{r}_2) = \frac{1}{R_2^3} - \frac{1}{r_2^3},$$

so geht sie in (3.) über, wenn man berücksichtigt, daß wie bei der ebnen so auch bei der sphärischen Bewegung die Normalbeschleunigung einerseits der Projektion der Zentralbeschleunigung auf die Normale, anderseits dem mit der Krümmung multiplizierten Geschwindigkeits-

quadrate gleich ist. Auch in die LAGRANGEsche Gleichung ist die Gleichung (3.) leicht überzuführen. Multiplizieren wir letztere mit $\frac{1}{2}\vartheta_1\vartheta_3 R_2$, setzen $\frac{1}{2}\vartheta_1\vartheta_3\ddot{\bar{r}}_2 = \sin\widehat{P_2Q_2} = \sin\iota_2\cdot\frac{\sin\bar{r}_2}{\sin\varkappa_2}$, wo $\varkappa_2$ das sphärische Lot von $\bar{S}_2$ auf $\widehat{P_1P_3}$ ist, setzen ferner $\operatorname{cotg}\bar{R}_2 + \operatorname{cotg}\bar{r}_2 = \frac{T_2P_2}{R_2\sin\bar{r}_2}$, so erhalten wir die LAGRANGEsche Gleichung:

$$T_2P_2\cdot\frac{\sin\iota_2}{\sin\varkappa_2} = \frac{1}{2}\vartheta_1\vartheta_3 R_2\left(\frac{1}{R_2^3}-\frac{1}{r_2^3}\right).$$

Die Gleichung

$$\frac{1}{R^3}-\frac{1}{r^3} = \ddot{\bar{r}}\,(\operatorname{cotg}\bar{R}+\operatorname{cotg}\bar{r}) \tag{3.}$$

geht durch die Substitution

$$\sin\bar{R} = \sin\bar{r}\cdot\frac{R}{r}$$

über in die Gleichung:

$$\frac{1}{r^8}-\frac{2}{r^5}\left(\frac{1}{R^3}-\ddot{\bar{r}}\operatorname{cotg}\bar{r}\right)+\frac{1}{r^2}\left\{\left(\frac{1}{R^3}-\ddot{\bar{r}}\operatorname{cotg}\bar{r}\right)^2+\ddot{\bar{r}}^2\right\}-\frac{\ddot{\bar{r}}^2}{R^2\sin^2\bar{r}} = 0,$$

die nach dem CARTESischen Satze eine oder drei positive Wurzeln für r hat. Die Gleichung hat stets die Wurzel $r = R$ und die dem beobachteten Planeten entsprechende Wurzel r, also sicher stets drei positive Wurzeln. Daraus folgt beiläufig, daß stets $\frac{1}{R^3}-\ddot{\bar{r}}\operatorname{cotg}\bar{r} > 0$ ist, so daß bei gegebenem R und $\bar{r}$ die scheinbare Beschleunigung $\ddot{\bar{r}}$ nicht mehr jeden beliebigen Wert haben kann.

Setzt man

$$\operatorname{cotg}\bar{R} = x \quad , \quad \sin^3\bar{R} = y,$$

so wird die Aufgabe gelöst durch die Schnittpunkte der Geraden

$$y = \sin^3\bar{r} - \ddot{\bar{r}}R^3\sin^3\bar{r}\cdot(x+\operatorname{cotg}\bar{r}) \tag{7.}$$

und des festen, d. h. ein für allemal zu zeichnenden Kurvenastes:

$$y = \left|(1+x^2)^{-\frac{3}{2}}\right|. \tag{8.}$$

Dieser hat ein Maximum $y = 1$ bei $x = 0$, er ist symmetrisch zur Y-Achse, nähert sich beiderseits asymptotisch der X-Achse, hat bei $x = \pm\frac{1}{2}$, $y = \left|\left(\frac{4}{5}\right)^{\frac{3}{2}}\right|$ Wendepunkte. Von den drei Schnittpunkten

der Sekante (7.) entspricht einer: $x_0 = -\operatorname{cotg}\hat{r}$, $y_0 = \sin^3\hat{r}$ der Wurzel $r = R$; von den zwei andern entspricht einer brauchbaren Lösung jeder, dessen Abszisse

$$x = \operatorname{cotg}\widehat{R} > -\operatorname{cotg}\hat{r}\,, \text{ also } > x_0$$

ist. Demnach sind eine oder zwei Lösungen vorhanden, je nachdem die Tangente in (x_0, y_0) steiler oder flacher als die Sekante (7.) verläuft, d. h. je nachdem y'_0 größer oder kleiner als $-\ddot{\bar{r}}R^3\sin^3\hat{r}$ ist. Das ergibt das Kriterium: Eine oder zwei Lösungen, je nachdem

$$\frac{\sin 2\hat{r}}{\ddot{\bar{r}}\cdot R^3} \gtrless -\frac{2}{3}$$

ist. Dies Kriterium ist mit dem auf minder einfachem Wege von von Oppolzer gefundenen mit Rücksicht auf die Bedeutung von $\ddot{\bar{r}}$ im wesentlichen identisch. Jedoch ist das obige Kriterium exakt, das von Oppolzersche:

$$1 + 3\cdot\cos\hat{r}_2\cdot\frac{\vartheta_1\vartheta_3}{2}\,\frac{\sin\varkappa_2}{\sin\iota_2}\cdot\frac{1}{R_2^3} \gtrless 0$$

entspricht der Einführung der schon oben benutzten Näherungsgleichung:

$$\frac{1}{2}\,\frac{\vartheta_1\vartheta_3}{2}\,\ddot{\bar{r}}_2 = \frac{\sin\iota_2}{\sin\varkappa_2}\cdot\sin\hat{r}_2\,.$$

Nachdem auf dem beschriebenen Wege erste Näherungswerte für r_1, r_2, r_3, $\operatorname{cotg}\widehat{R}_1$, $\operatorname{cotg}\widehat{R}_2$, $\operatorname{cotg}\widehat{R}_3$ gefunden sind, kann man nach Gauss solche für die Verhältnisse der Dreiecke SP_1P_2, SP_2P_3, SP_3P_1 und dann als lineare Funktionen derselben zweite Näherungswerte für $\operatorname{cotg}\widehat{R}_1$, $\operatorname{cotg}\widehat{R}_2$, $\operatorname{cotg}\widehat{R}_3$ berechnen. Diese Dreiecksverhältnisse liefern auch vermittels

$$\frac{P_1Q_1}{SP_1} = \frac{P_1P_2P_3}{SP_2P_3}\,,\quad \frac{P_2Q_2}{SP_2} = \frac{P_1P_2P_3}{SP_1P_3}\,,\quad \frac{P_3Q_3}{SP_3} = \frac{P_1P_2P_3}{SP_1P_2}$$

die oben (4.) für P_1Q_1, P_2Q_2, P_3Q_3 anders abgeleiteten Näherungen.

Ausgegeben am 16. Juli.

Berlin, gedruckt in der Reichsdruckerei.

1914.
XXX.

SITZUNGSBERICHTE

DER

KÖNIGLICH PREUSSISCHEN

AKADEMIE DER WISSENSCHAFTEN.

16. Juli. Sitzung der physikalisch-mathematischen Classe.

Vorsitzender Secretar: Hr. Waldeyer.

1. Hr. Hertwig las: Über die Verwendung radioactiver Substanzen zur Zerstörung lebender Gewebe. (Ersch. später.)

Um die Frage aufzuklären, inwieweit Zellen, auf welche die β- und γ-Strahlen von Radiumbromid und Mesothorium keine ersichtlich elective Wirkung ausüben, trotzdem geschädigt werden, wurden verschiedene pflanzliche und tierische Gewebe kürzere und längere Zeit bestrahlt und die nach Tagen, Wochen und Monaten eintretenden Veränderungen an demselben Object während des Lebens verfolgt.

2. Hr. Hertwig legte eine Untersuchung von Hrn. Dr. Weissenberg, Privatdocenten an der Universität Berlin, vor: Über infectiöse Zellhypertrophie bei Fischen (Lymphocystiserkrankung).

Aus Fischgeschwülsten, hauptsächlich der Haut von Flundern, ist durch Woodcock und Awerinzew eine riesige Zellart als das Protozoon *Lymphocystis Johnstonei* Woodc. beschrieben worden. Verfasser weist am Kaulbarsch nach, dass die grossen Zellen nicht Parasiten, sondern hypertrophische Bindegewebszellen des Fisches darstellen, die durch ein von Fisch zu Fisch übertragbares Virus zum Wachstum gereizt werden.

Über infektiöse Zellhypertrophie bei Fischen (Lymphocystiserkrankung).

Von Dr. Richard Weissenberg,
Privatdozent an der Universität Berlin.

(Vorgelegt von Hrn. Hertwig.)

Aus Hautgeschwülsten von Plattfischen, namentlich Flundern und Schollen, sind seit längerer Zeit[1] eigentümliche riesige Zellen bekannt, die durch Kugelgestalt, einen mächtigen bläschenförmigen Kern und eine dicke Zellmembran von hyaliner Beschaffenheit an Eizellen erinnern. Die großen Zellen können einen Durchmesser von 1.5 mm erreichen. Sie liegen unter dem Epithel im Bindegewebe und rufen stark über die Oberfläche der Haut prominierende Knötchen hervor. Was die großen Zellen bei der feineren histologischen Untersuchung von vornherein zu sehr auffälligen Gebilden stempelt, ist der Umstand, daß sie in ihrem Plasma netzartige Einschlüsse aufweisen, die sich intensiv mit Kernfarbstoffen färben. Woodcock[2] und Awerinzew[3], die in neuerer Zeit die eigentümliche Fischkrankheit am genauesten untersucht haben, kamen beide zu dem Resultat, daß die großen Zellen einem riesigen parasitischen Protozoon angehören, dem Woodcock (1904) den Namen *Lymphocystis johnstonei* gab. Allerdings waren es weniger positive Anhaltspunkte, die Woodcock zu dieser Deutung bewogen, als vielmehr der Umstand, daß er nach sorgfältiger Überlegung meinte, jede andere Auffassung ausschließen zu können. Er betonte jedoch ausdrücklich, daß eine genauere Einordnung der fraglichen Gebilde in das System der Protozoen vorläufig nicht möglich

[1] Lowe (1874), Mc Intosh (1884/85), G. Sandeman, (11th Ann. Rep. Scott. Fish. Board f. 1892, S. 391).

[2] H. M. Woodcock, Note on a remarkable parasite of Plaice and Flounders. Rep. Lancash. Sea-fisher. Laborat. for 1903. Liverpool 1904.

[3] S. Awerinzew, Zur Kenntnis von *Lymphocystis johnstonei* Woodcock. Zool. Anz. Bd. 31, 1907. Studien über parasitische Protozoen. II. *Lymphocystis johnstonei* Woodc. und ihr Kernapparat. Arch. f. Protistenk. Bd. 14, 1909. V. Einige neue Befunde aus der Entwicklungsgeschichte von *Lymphocystis johnstonei* Woodc. Arch. f. Protistenk. Bd. 22, 1911.

sei. Viel bestimmter als Woodcock hat sich dann Awerinzew für die Protozoennatur der eigentümlichen Zellen ausgesprochen. Er deutete die Kernfärbung annehmenden Einschlüsse im Plasma als Chromidien und beschrieb die Bildung von Amöboidknospen und von Sporen, die allerdings nur selten zu beobachten seien. Für Awerinzew unterliegt es keinem Zweifel, daß es sich um ein Sporozoon aus der Gruppe der Cnidosporidien handle, vielleicht sogar um eine der Myxosporidiengattung *Henneguya* nahestehende Form. Die Möglichkeit, daß die riesigen Zellen hypertrophische Wirtszellen darstellen könnten, ist von beiden Autoren kurz gestreift worden. Sowohl Woodcock wie Awerinzew erklärten es jedoch für höchst unwahrscheinlich, daß Fischzellen in so kolossaler Weise hypertrophieren könnten.

Im Laufe des letzten Jahres war es mir möglich, die Lymphocystiserkrankung an Ostseefischen, die bei Rügen gefangen wurden, zu studieren. An bei Hiddensee gefischten Flundern habe ich durch Lymphocystiszellen bedingte Hautgeschwülste von ähnlicher Beschaffenheit beobachtet, wie sie von der englischen Küste und durch Awerinzew aus der Barents-See beschrieben worden sind. Insbesondere aber gelang es, im großen Bodden bei Lietzow auf Rügen eine ganz ähnliche Hauterkrankung am Kaulbarsch aufzufinden und dieselbe an in Aquarien gehaltenen Tieren im Anatomisch-Biologischen Institut in Berlin weiter zu verfolgen. In dem bindegewebigen Substrat von Hautwucherungen finden sich auch beim Kaulbarsch kuglige Zellen von sehr beträchtlichem Durchmesser, die von einer homogenen Membran umgeben und mit einem großen bläschenförmigen Kern ausgestattet sind. Auch hier sind im Plasma eigentümliche netzartige Einschlüsse vorhanden, die sich mit Kernfarbstoffen intensiv färben. Im Prinzip ergibt sich also eine vollkommene Übereinstimmung zu dem Verhalten der Lymphocystiszellen aus den Plattfischen, und es kann somit keinem Zweifel unterliegen, daß auch die Hauterkrankung des Kaulbarsches als eine Lymphocystiserkrankung anzusprechen ist.

Im einzelnen zeigen sich freilich einige Unterschiede, auf die kurz eingegangen sei. An Plattfischen, deren Haut stark befallen war, sind gelegentlich Lymphocystiszellen auch im Mesenterium (Woodcock) sowie in Leber und Ovarium (Awerinzew) aufgefunden worden. Beim Kaulbarsch habe ich in stark erkrankten Fällen bisher lediglich das Befallensein der Haut konstatieren können. Bei der Flunder sind Lymphocystiszellen von einem Durchmesser von 1.5 mm nicht selten. Beim Kaulbarsch war unter dem bei Rügen gefangenen reichen Material nur ein Zelldurchmesser von höchstens 0.7 mm zu konstatieren. Namentlich im Herbst wurden oft auch Tiere mit einem erheblich geringeren Durchmesser der Lymphocystiszellen gefangen. Die Beobachtung im

Aquarium ergab dann, daß es sich um junge Lymphocystiszellen handelt, die im Laufe der nächsten Monate eine kontinuierliche Größenzunahme zeigten, aber auch nur bis zu einem Durchmesser von etwa 650 μ wuchsen. Ausgewachsene Lymphocystiszellen des Kaulbarsches sind also erheblich kleiner als die der Flunder. Ein weiterer Unterschied besteht darin, daß der mächtige bläschenförmige Kern in den Lymphocystiszellen der Flunder zahlreiche relativ kleine Kernkörperchen enthält, während beim Kaulbarsch in der Regel nur ein Nukleolus, jedoch von sehr beträchtlicher Größe, vorhanden ist. Die Zellmembran scheint bei der Flunder nie eine so bedeutende Dicke wie beim Kaulbarsch zu erreichen, wo sie an großen Zellen einen Durchmesser von 20 μ aufweisen kann. Schließlich nehmen die mit Kernfarbstoffen färbbaren Plasmaeinschlüsse bei der Flunder einen viel größeren Raum in der Zelle für sich in Anspruch als beim Kaulbarsch.

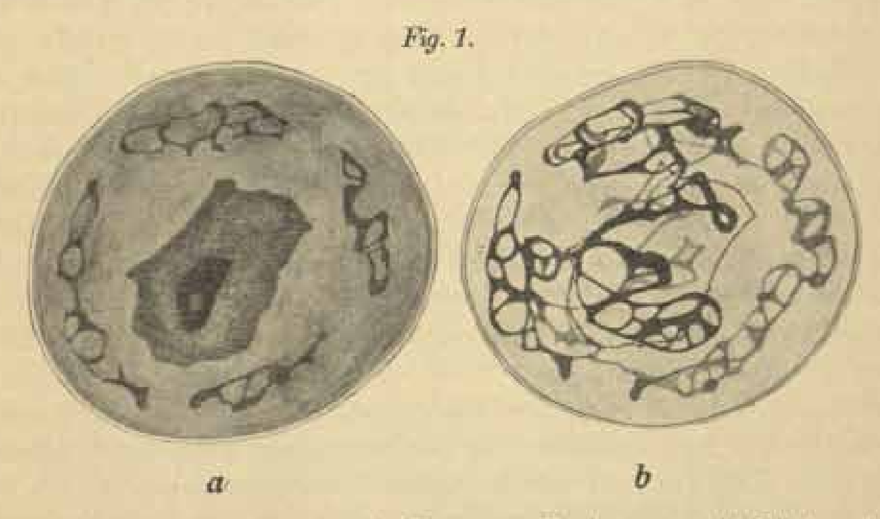
Auf die eigentümliche Zellmembran und die mit Kernfarbstoffen stark färbbaren Plasmaeinschlüsse sei etwas genauer eingegangen, da sie die merkwürdigsten und auffälligsten Komponenten der Lymphocystiszellen sind. In erster Linie seien dabei die Kaulbarschzellen der Darstellung zugrunde gelegt, die lebend und nach verschiedenen Präparationsmethoden untersucht werden konnten, während mir von der Flunder zur Zeit nur in Formalin konserviertes Material zur Verfügung steht.

Die Membran, die die Lymphocystiszellen umgibt, ist farblos und glasartig durchsichtig. Ihre Dicke nimmt mit der Größe der Zellen zu. An Zellen mit einem Plasmadurchmesser von etwa 250 μ beträgt sie bereits 15 μ. Im frischen Präparat erscheint die Membran als ein breiter, heller, stark glänzender Hof, der die Lymphocystiszellen auf das deutlichste von dem sie umgebenden kleinzelligen Gewebe abhebt. Durch die Konservierung erfährt die Membran eine beträchtliche Schrumpfung. Ihr Volumen nimmt weit stärker ab als das des Zellplasmas, und auf Dauerpräparaten ist sie bei schwacher Vergrößerung nun oft nur noch als eine einfache Konturlinie zu erkennen. Am frischen Präparat läßt sie sich leicht von dem zähflüssigen Plasma isolieren. Ihre Konsistenz ist offenbar gallertartig. Sie läßt sich schon unter leichtem Druck mit Nadeln durchtrennen. Eine auf dem Objektträger unter der Präparierlupe ausgebreitete Membran sucht, sowie sie nicht mehr mit Nadeln gespannt wird, wieder die Form der Kugelschale anzunehmen. Sie zeigt also eine gewisse Elastizität. Sehr charakteristisch ist das färberische Verhalten der Membran. Werden Schnitte mit Pikrofuchsin oder Pikroindigokarmin gefärbt, so tingiert sich die Membran in ähnlichem Farbenton wie kollagenes Bindegewebe. Kommt jedoch auch ein Kernfarbstoff zur Anwendung, so nimmt

die Membran diesen am intensivsten an. Sie ist also ausgesprochen basophil, ähnlich wie Schleim oder Knorpel. So wird sie durch Magentarot intensiv rot gefärbt, nimmt im Biondigemisch lediglich das Methylgrün an und wird frisch schon durch Spuren von Bismarckbraun intensiv tingiert. Zu Jod zeigt sie in frischem Zustande keinerlei Affinität.

Der zweite sehr charakteristische Zellbestandteil sind die eigentümlichen chromatinhaltigen Plasmaeinschlüsse, die, bei schwacher Vergrößerung betrachtet, bisweilen an das Bild echter Kerne erinnern. Auf feinen Durchschnitten durch große Lymphocystiszellen erscheinen sie in sehr mannigfacher Form als Ballen, gewundene Stränge, Ringe oder Netzmaschen. An den ausgewachsenen Zellen ist es wegen ihrer bedeutenden Größe nicht möglich, durch Totalpräparate festzustellen, ob zwischen den oft zu Hunderten im Schnitt isoliert getroffenen Zelleinschlüssen ein Zusammenhang besteht. An jüngeren Lymphocystiszellen aus dem Kaulbarsch, so z. B. bei der in Fig. 1 dargestellten Zelle von 120 μ Durchmesser, ergibt das Studium des Totalpräparates dagegen auf das deutlichste, daß es sich um ein einziges großes Netz handelt, das mit zahlreichen Maschen den Kern umstrickt, und das an manchen Stellen keulenförmig endigende Seitensprossen aussendet. Das Gesamtbild erinnert sehr an die vom Apparato reticulare der Ganglienzellen gegebenen Abbildungen. Mit zunehmender Zellgröße wächst fortgesetzt auch die Zahl der Netzmaschen, die das Plasma durchziehen, und gleichzeitig vergrößert sich das Kaliber der Netzbalken

Fig. 1.

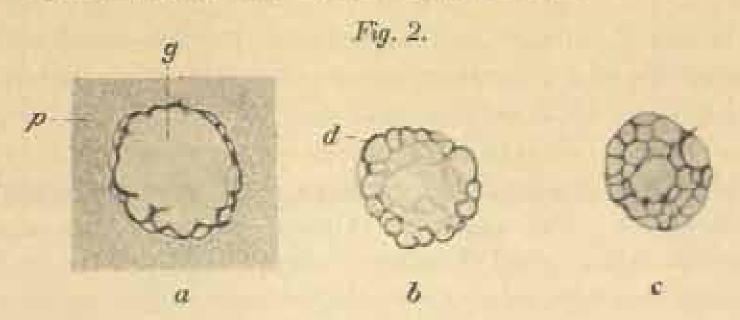


Totalpräparat einer Kaulbarschlymphocystiszelle von 120 μ Durchmesser. *a* die Zelle im optischen Durchschnitt gesehen. Der netzförmige Zelleinschluß scheint aus vier getrennten Partien zu bestehen. *b* die gleiche Zelle, in die unter Kombination verschiedener Einstellungen das den Kern umstrickende Maschenwerk fast vollständig eingetragen ist. Kernkontur punktiert angegeben. Vergrößerung 440 : 1.

nicht unbeträchtlich. Während die in Fig. 1 abgebildeten Netzbalken höchstens 3 μ breit sind, ist in größeren Lymphocystiszellen des Kaulbarsches oft ein Querdurchmesser von 12 μ zu konstatieren, und bei der Flunder kommen sogar Zelleinschlüsse mit einem Kaliber von 15 bis 25 μ zur Beobachtung. Die Maschenweite dagegen ist in kleinen und großen Zellen nicht wesentlich verschieden und variiert hier wie dort zwischen 8 und 25 μ.

Was das feinere Verhalten der Zelleinschlüsse betrifft, so müssen die Netzspangen junger Lymphocystiszellen beim Kaulbarsch nach ihren Färbungsreaktionen als Stränge von echtem Basichromatin bezeichnet werden. Sie färben sich nicht nur mit den gewöhnlichen Kernfarbstoffen wie Hämatoxylin oder Saffranin intensiv, sondern werden insbesondere auch auf Biondipräparaten prachtvoll durch Methylgrün tingiert. Bei Anwendung starker Vergrößerungen zeigt es sich, daß die Netzbalken nicht solide Chromatinspangen darstellen, sondern an vielen Stellen gefenstert oder vakuolisiert sind. Die Durchbrechungen bzw. Vakuolen finden sich so dicht nebeneinander, daß die Netzbalken wieder ihrerseits eine ausgesprochene Netzstruktur auf dem Schnitt darbieten, und zwar ist es ein sehr zierliches Netz mit einer Maschenweite von oft nur 0.7 μ, das die bis 3 μ dicken Balken des groben Netzes aufbaut. Mit dem zunehmenden Wachstum der Lymphocystiszellen wächst nun nicht nur das grobe Netz unter Vermehrung seiner Maschenzahl in die Länge, sondern es dehnen sich auch seine gefensterten und vakuolisierten Netzbalken in querer Richtung aus und wandeln sich dabei in Gitterröhren um. Desgleichen erscheinen nun die keulenartigen Endigungen der Seitensprossen als Gitterkörbe. Da die Maschen der Gitterwerke lediglich aus Basichromatin bestehen und die Maschenweite nur 0.7—3 μ beträgt, so bieten sie ein sehr zierliches Bild dar. Im Innern der Röhren und Körbe liegt eine Substanz, die sich zunächst färberisch vom Plasma nicht unterscheiden läßt. Auf Biondipräparaten färbt sie sich ebenso wie das Plasma durch Säurefuchsin rosa und bietet daher einen schönen Farbenkontrast gegenüber den leuchtend grün tingierten Gitterwänden. In den großen Lymphocystiszellen schiebt sich dann die Gitterröhre unter Dehnung ihres Kalibers, die teils durch Vermehrung der Maschenzahl, teils durch Vergrößerung der Maschenweite ermöglicht wird, weiter in das Plasma vor, und die von der Gitterwand umspannte Substanz färbt sich nun kräftiger als das Plasma und unterscheidet sich von dem fein granulierten Zellplasma oft auch durch eine mehr homogene Struktur. Man kann also jetzt von einer besonderen Grundsubstanz der groben Netzbalken sprechen, die die Gitterröhren ausfüllt. Auf Biondipräparaten erweist sie sich nach wie vor als oxyphil, nur daß

Fig. 2.



Aus einem 10 μ dicken Schnitt durch eine Flunderlymphocystiszelle von 1.5 mm Durchmesser. Querschnitt durch die Kuppe eines ballenförmigen Zelleinschlusses. *a* hohe, *b* mittlere, *c* tiefe Einstellung. Das Chromatingitterwerk *d* bei Einstellung *a* im optischen Durchschnitt, bei Einstellung *b* und namentlich *c* in Flächenansicht sichtbar. *g* Grundsubtanz des Zelleinschlusses. *p* Zellplasma. Vergrößerung 1300 : 1.

sie sich jetzt kräftiger rötlich färbt als das Plasma. Die Rotfärbung ist jedoch keine so intensive, daß ich, wie es AWERINZEW auf Grund von Giemsapräparaten tut, von Nukleolarsubstanz (Plastin) sprechen möchte. Auch bleiben meinen Befunden nach Grundsubstanz und Chromatingitterwerk immer scharf voneinander gesondert, während nach AWERINZEW das Chromatin unmerklich in Plastin übergehen soll. Da mit der zunehmenden Dehnung des Kalibers der Gitterröhren die Chromatinnetze auf einen immer größeren Bezirk und immer feiner ausgezogen werden, so kommt naturgemäß bei schwacher Vergrößerung jetzt mehr der Farbenton der Grundsubstanz zur Geltung. In ähnlicher Weise wie beim Kaulbarsch bestehen auch, wie Fig. 2 demonstriert, bei der Flunder die sehr breiten Einschlüsse, die hier in Gestalt gewundener Stränge in großer Menge die Zelle durchziehen, aus einer sich intensiver als das Plasma färbenden Grundsubstanz, die von einem zierlichen Chromatingitter allseitig umstrickt wird.

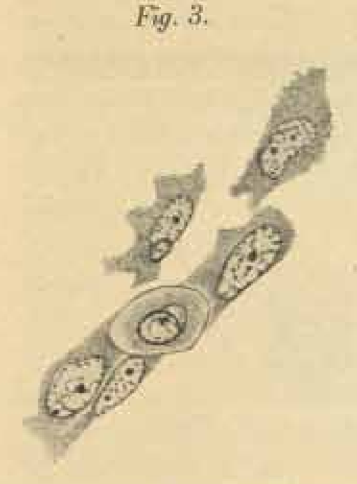
An den Lymphocystisgeschwülsten der im Aquarium monatelang am Leben erhaltenen Kaulbarsche waren außer dem kontinuierlichen Wachstum eines Teiles der großen Zellen auch in zahlreichen Fällen Degenerationen zu beobachten. Irgendwelche Umbildungen aber, die einen klaren Hinweis auf die von AWERINZEW behauptete parasitäre Natur der riesigen Zellen erbracht hätten, wie die Ausbildung von Amöboidknospen oder Sporen, ließen sich dagegen nie feststellen. Somit mußte alles darauf ankommen, durch Beobachtung von Jugendstadien der Erkrankung die rätselhaften Zellgebilde aufzuklären. Für das Auffinden der Anfangsstadien lagen die Verhältnisse von vornherein dadurch günstig, daß eine Prädilektionsstelle für den Sitz der Geschwülste der zarte Flossensaum darstellt, eine Partie, die schon am lebenden Fisch der mikroskopischen Untersuchung in ausgezeichneter Weise zugänglich ist.

Durch Verfütterung von Geschwülsten an gesunde Kaulbarsche wurde versucht, eine Übertragung der Krankheit zu erzielen. Es stellte sich jedoch bald heraus, daß alle als gesund aus Rügen bezogenen Fische, die im Herbst mit erkrankten zusammen im gleichen Aquarium gehalten wurden, ohne weiteres Zutun nach einigen Wochen junge Geschwülste aufwiesen. Den Winter hindurch fortgesetzte Versuche ergaben dann, daß bei einem großen Teil von Versuchsfischen, die ohne irgendwelche Krankheitserscheinungen in Berlin aus Rügen eingetroffen waren, ganz junge Lymphocystiszellen im Bindegewebe der Flossen auftraten, und zwar stets 10 bis 14 Tage, nachdem sie mit erkrankten Kaulbarschen zusammengebracht worden waren. Durch ihre glänzende, doppelt konturierte Membran waren die jungen Lymphocystiszellen auf das deutlichste im frischen Totalpräparate des Flossensaumes zu erkennen. Die jüngsten von der Membran umkapselten Zellen, die gefunden wurden, hatten stets bereits einen mittleren Durchmesser von etwa 14 μ. Sie traten also von vornherein in einer bestimmten Anfangsgröße auf. Vorher, im Laufe der ersten Woche, war es bei keinem Infektionsversuch möglich, trotz sorgfältiger Untersuchung zahlreicher Fische eine Lymphocystiszelle auf den Flossen zu entdecken.

Das plötzliche Auftreten im Laufe der zweiten Woche mit einer bestimmten Anfangsgröße läßt sich nicht anders erklären, als daß die eingekapselten Lymphocystiszellen durch die Abkapselung von nackten im Bindegewebe liegenden Zellen entstehen. Da sie oft in sehr großer Menge eine dicht neben der anderen auftreten, ohne daß im Leben oder nach Konservierung irgendwelche Zeichen von Teilungen zu beobachten sind, so müssen sie bereits vor der Zellmembranbildung in großer Menge im Bindegewebe vorhanden sein. Dauerpräparate zeigten nun, daß in der Bindegewebsplatte der Flossenmembranen weder vor dem Auftreten der eingekapselten Zellen noch in der Umgebung der jüngsten Herde irgendwelche als Parasiten anzusprechende Zellelemente vorhanden sind, daß dagegen die Bindegewebszellen selber dort, wo sich die jungen Herde entwickeln, eine kräftigere Färbung des unter normalen Verhältnissen sehr zarten Plasmas aufweisen und durch saftreiche Kerne mit deutlich hervortretenden Nukleolen ausgezeichnet sind. Diesen anschwellenden Bindegewebszellen entsprechen nun die membranumhüllten Zellen sowohl in ihrer Größe als auch in der Struktur ihres Plasmas und namentlich im Bau des Kerns aufs beste (Fig. 3). Somit gelange ich zu dem Resultat, daß die Lymphocystiszelle keinen Parasiten darstellt, sondern daß sie aus einer Bindegewebszelle des Fisches hervorgeht, dadurch, daß sich diese mit einer Membran umhüllt und hypertrophiert. Das Auftreten großer Massen

von eingekapselten Zellen, ohne daß Zellteilungen an ihnen zu beobachten sind, erklärt sich offenbar dadurch, daß sich zahlreiche Bindegewebszellen gleichzeitig oder kurz nacheinander mit der Membran umhüllen.

Fig. 3.

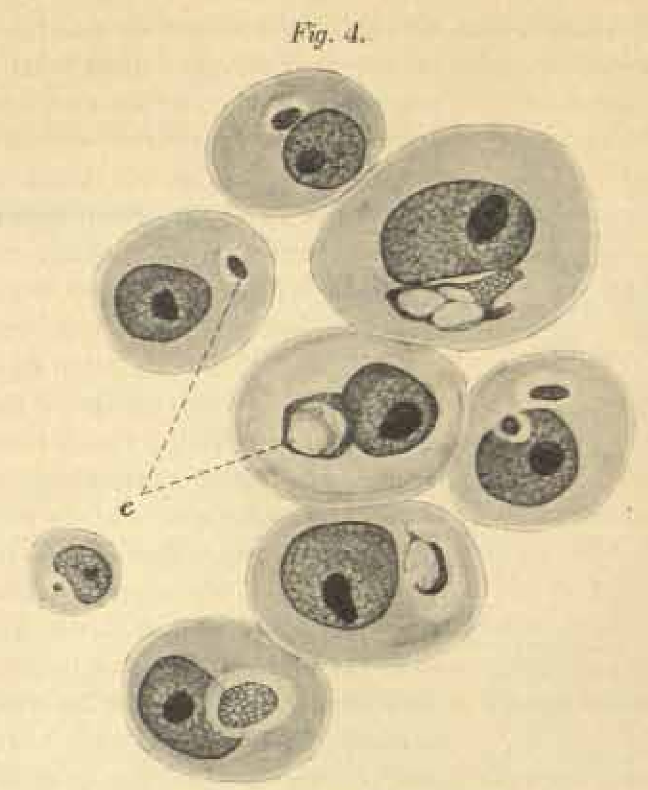


Gruppe von Bindegewebszellen mit verdichtetem Plasma und saftreichem Kern. In der Mitte eine Zelle durch Membranbildung abgekapselt = junge Lymphocystiszelle. Aus einem Totalpräparat der Flossenmembran eines neun Tage lang unter Infektionsbedingungen gehaltenen Kaulbarsches. Vergrößerung 800 : 1.

Die eingekapselten Zellen fahren nun fort, im Kern und Plasma zu hypertrophieren, und übertreffen schon nach wenigen Tagen die nicht von der Erkrankung ergriffenen Bindegewebszellen ihrer Umgebung erheblich an Größe. Auf den jüngsten Stadien lassen die membranumhüllten Zellen in ihrem Plasma noch keinerlei auffällige Einschlüsse erkennen. Wenn sie jedoch einen Durchmesser von etwa 22 μ erreicht haben, tritt in ihrem Zelleib eine Verdichtung auf, die sich bald als ein kugelförmiges Körperchen scharf absetzt, das eine ausgesprochene Affinität zu Kernfarbstoffen besitzt. Das Einschlußkörperchen ist gewöhnlich von einem hellen Hof umgeben. Im Laufe einer Woche wächst unter zunehmender Vergrößerung der Zelle auch der Zelleinschluß erheblich heran. Er beginnt sich in die Länge zu strecken, in seinem Innern treten Vakuolen auf, und unter weiterer Vergrößerung wächst er zu einer gefensterten Scheibe aus. Indem der Rand der Scheibe sich verdickt, die mittlere Partie dagegen bis auf einige Verbindungsbrücken einreißt, entsteht das Bild eines von Brücken durchsetzten Ringes, und wenn nun der Rand des Ringes Sprossen zu treiben beginnt, ist aus dem Einschlußkörperchen ein Netzwerk hervorgegangen. Es ist dies das eigentümliche chromatinhaltige Netz der Lymphocystiszellen, das sich bald mehr und mehr im Plasma ausbreitet. In Fig. 4 sieht man die geschilderten Entwicklungsstadien in einem Präparat nebeneinander, da einige Zellen die andern im Wachstum überflügeln und manche auch ganz zurückbleiben. Die weitere Entwicklung des Chromatinnetzes wurde bereits oben geschildert. Hier sei nur noch bemerkt, daß bereits bei ihrer ersten Anlage die Netzspangen vakuolisiert oder gefenstert erscheinen.

Zur Frage der Gesamtentwicklung der Geschwülste sei kurz erwähnt, daß sich in der Umgebung der jungen Lymphocystiszellen bald ein zell- und blutgefäßreiches Bindegewebe vorfindet. Besonders auffällig aber ist es, daß Hand in Hand mit dem Wachstum der Lymphocystiszellen eine starke Zellvermehrung im Hautepithel ein-

Fig. 4.



Junge Lymphocystiszellen auf verschiedenen Stadien der Entwicklung des Zelleinschlusses (*c*), der aus einem runden oder ovalen Körperchen zu einem Netzwerk heranwächst. Aus einem Totalpräparat der Flossenmembran eines einige Wochen unter Infektionsbedingungen gehaltenen Kaulbarsches. Vergrößerung 800 : 1.

tritt. Es kommt daher frühzeitig zur Bildung einer dicken epitheliomartigen Epidermiskappe, die meist mehrere Lymphocystiszellen gemeinsam überzieht, da diese in der Regel gruppenweise zusammenliegen. Aus den so enstandenen Wülsten, die der Haut mit breiter Basis aufsitzen, gehen späterhin traubige Tumoren dadurch hervor, daß das Epithel- und Bindegewebswachstum mit dem kolossalen Anschwellen der Lymphocystiszellen nicht mehr Schritt hält. Die hypertrophischen Zellen werden nur noch von einer schmalen Bindegewebslage und einer dünnen Epidermiskappe überzogen und stellen nun perlenartig über die Oberfläche der Haut prominierende Knötchen dar. Ausgewachsene Lymphocystiszellen können nach Lockerung ihres Bindegewebsstieles, mit dem sie beispielsweise an einem Flossenstrahl angeheftet waren, abgestoßen werden, und es kann so zu einer völligen Ausheilung der befallenen Fische kommen. Die in das Wasser abgestoßenen Zellen zerfallen nach einigen Tagen, und ihre Reste werden durch Mikroorganismen zerstört.

In zahlreichen Fällen erreichen die Lymphocystiszellen nicht ihre volle Größe, sondern erfahren bereits vor Beendigung ihres Wachstums im Fischkörper regressive Veränderungen. Die feinen Chromatingitter der Zelleinschlüsse können dabei in Fädchen zersplittern, oder es finden sich an ihrer Stelle Chromatintropfen und -klumpen. Der Zellinhalt schrumpft dann entweder zu einer körnigen Masse zusammen, oder es kommt zu einem Bruch der Membran und darauf zu einem Eindringen von Phagocyten in die Zelle, die sie allmählich zerstören. Auf Grund dieser Befunde am Kaulbarsch muß ich es für sehr wahrscheinlich halten, daß die von Awerinzew in Lymphocystiszellen der Flunder beschriebenen Amöboidknospen gleichfalls auf eingedrungene Phagocyten zurückzuführen sind.

Überblickt man die gesamten Entwicklungszustände, die sich an den Lymphocystiszellen von dem ersten Auftreten ihrer Membran an bis zur Entwicklung der großen traubigen Tumoren hin abspielen, so muß man sagen, daß sie sich dabei durchaus wie hypertrophierende Fischzellen verhalten. Der gesamte spätere Entwicklungsverlauf bestätigt also vollkommen das, was über die Genese der Zellen ermittelt wurde: die Lymphocystiszellen stellen nicht, wie es Woodcock und Awerinzew meinten, parasitische Protozoenzellen, sondern hypertrophische Bindegewebszellen des Fisches dar.

Für die Beurteilung der Frage, wodurch die kolossale Hypertrophie verursacht wird, ist die Feststellung ausschlaggebend, daß es sich bei der Lymphocystiserkrankung des Kaulbarsches um eine ansteckende Krankheit handelt. In sechs Versuchsreihen wurden Fische aus Rügen, die bei ihrer Ankunft in Berlin keinerlei Krankheitserscheinungen aufwiesen, mit erkrankten Kaulbarschen zusammen in Wasser gebracht, dem fein zerstückelte Tumoren beigemengt worden waren. Stets traten im Laufe der zweiten Woche bei einer ganzen Anzahl der Versuchsfische junge Lymphocystiszellen auf den Flossen auf. Nach einigen Monaten erkrankte ein Teil der Kaulbarsche sogar zum zweiten Male im Aquarium und wies neben den inzwischen mächtig herangewachsenen Geschwulstzellen von neuem junge Lymphocystiszellen auf.

Da diesen Versuchen gegenüber immerhin noch der Einwand möglich wäre, daß in Rügen vielleicht ein großer Teil aller gefangenen Kaulbarsche bereits die Krankheit latent in sich trüge und diese dann unter den Aquariumsbedingungen zum offenen Ausbruch käme, so lag mir daran, Kaulbarsche den Infektionsbedingungen auszusetzen, die aus einer ganz andern Gegend stammten. An etwa fünfzig Süßwasserkaulbarschen, die bei Oderin in der Mark gefangen wurden, waren keinerlei Lymphocystisgeschwülste oder Spuren einer überstandenen

Erkrankung zu entdecken. Als von diesem Material vier Fische sechzehn Tage lang unter den Infektionsbedingungen gehalten worden waren, konnten in der Tat an einem Exemplar typische junge Lymphocystiszellen aufgefunden werden.

Es scheint mir damit bewiesen zu sein, daß die Lymphocystiserkrankung ansteckend ist. Offenbar muß derselben ein Erreger zugrunde liegen. Für seinen Sitz im Fischkörper scheinen mir zwei Möglichkeiten in Betracht zu kommen. Entweder ist das Virus außerhalb der Lymphocystiszellen lokalisiert und übt etwa durch in den Säften kreisende Stoffwechselprodukte einen Wachstumsreiz auf die Geschwulstzellen aus. Oder aber es handelt sich bei dem Virus um einen Zellparasiten, der in den Lymphocystiszellen selber seinen Sitz hat und unmittelbar ihre Hypertrophie veranlaßt. Die letztere Auffassung scheint mir am nächsten zu liegen. Zu ihren Gunsten läßt sich vor allem anführen, daß sich damit ein Anschluß an schon bekannte Fälle von infektiöser Zellhypertrophie bei andern Fischen und niedern Tieren ergeben würde. So wurde z. B. von Schuberg (1910) eine Hypertrophie der Hodenepithelzellen der Barbe unter dem Einfluß endozellulärer Mikrosporidien beschrieben. Ganz kolossal ist ferner das Wachstum, das die Ganglienzellen vom Seeteufel (*Lophius*) erfahren, wenn sie von der Mikrosporidie *Nosema lophii* befallen sind, Mrázek (1899)[1], Weissenberg (1911)[2]. Nach meinen Erfahrungen kann es hier zur Ausbildung von Zellriesen kommen, die den Lymphocystiszellen des Kaulbarsches an Umfang nicht nachstehen. Für die eigentümliche Membranbildung der Lymphocystiszellen würde sich unter den zahlreichen von niedern Tieren bekanntgewordenen Fällen von Zellhypertrophie, die meist gleichfalls durch Mikrosporidien verursacht werden, eine Parallele bei oligochäten Würmern ergeben. Nach der Untersuchung von Mrázek[3] kommt es hier insbesondere bei der Myxocystiserkrankung von *Limnodrilus* zur Ausbildung einer eigentümlichen breiten Membran um die hypertrophierende Wirtszelle.

In allen diesen Fällen handelt es sich zwar um kleine, aber doch morphologisch wohl charakterisierte Zellparasiten, die die befallene Zelle dazu reizen, einen reichen Strom von Nahrungssäften aus dem Wirtskörper aufzunehmen. Hand in Hand mit der fortlaufenden Ver-

---

[1] A. Mrázek, Sporozoenstudien II. *Glugea lophii* Doflein. Sitzungsber. d. Kgl. Böhm. Ges. d. Wiss., Math.-Naturw. Kl., Prag 1899.

[2] R. Weissenberg, Über Mikrosporidien aus dem Nervensystem von Fischen (*Glugea lophii* Doflein) und die Hypertrophie der befallenen Ganglienzellen. Arch. f. mikr. Anat. Bd. 78, 1911.

[3] A. Mrázek, Sporozoenstudien. Zur Auffassung der Myxocystiden. Arch. f. Protistenk. Bd. 18, 1910.

größerung der Wirtszelle vermehren sie sich selber und ziehen somit den Nutzen aus dem oft zu kolossalen Dimensionen führenden Wachstum.

Während jedoch in allen angeführten Beispielen von Zellhypertrophie unter dem Einfluß von Mikrosporidien der Nachweis der Parasiten leicht gelingt, habe ich in den Lymphocystiszellen auch bei Anwendung stärkster Vergrößerungen weder im Plasma noch in den Zelleinschlüssen bisher Elemente auffinden können, die sich mit Sicherheit als Parasiten ansprechen ließen. Es kann somit als Zellparasit hier nur ein Mikroorganismus in Betracht kommen, der noch erheblich kleiner ist als selbst die winzigen nur wenige μ im Längsdurchmesser erreichenden Mikrosporidien.

Demnach würden die Verhältnisse bei der Lymphocystiserkrankung ähnlich liegen wie bei einer Reihe hochinfektiöser Krankheiten wie Pocken, Lyssa, Epitheliom der Vögel, Gelbsucht der Raupen, bei denen als Erreger — falls man überhaupt meint, dieselben bereits entdeckt zu haben — winzige an der Grenze der Sichtbarkeit stehende Gebilde in Anspruch genommen werden. Von Prowazek hat dieselben bekanntlich unter dem Namen der Chlamydozoen zusammengefaßt und auf eine Reihe gemeinsamer Eigenschaften in dem Verhalten der verschiedenen Virusarten aufmerksam gemacht. Insbesondere gilt es als charakteristisch für eine Chlamydozoenkrankheit, daß die Wirtszellen auf das Eindringen des winzig kleinen Virus mit der Ausbildung eigentümlicher Plasmaeinschlüsse antworten, die bereits mit groben Methoden nachweisbar sind. Es sei nur an die Guarnierischen Körperchen bei den Pocken, an die Negrischen bei Lyssa, an die polyedrischen bei der Raupengelbsucht erinnert. Diese Plasmaeinschlüsse sind nach von Prowazek Reaktionsprodukte der Zelle, die mit den Kernsubstanzen ziemlich nahe verwandt sind. Während manche sich ähnlich wie Nukleolarsubstanz verhalten, hebt von Prowazek[1] ausdrücklich hervor, daß bei der Vaccine und zum Teil bei der Karpfenpocke und dem kontagiösen Epitheliom der Vögel an ihrem Aufbau »zweifelsohne auch echte Chromatinsubstanzen beteiligt sind«.

Es liegt in diesem Zusammenhange nahe, auch die Chromatingitterwerke der Lymphocystiszellen als Reaktionsprodukte auf das Eindringen eines chlamydozoenartigen Zellparasiten zu deuten. Greift man unter den in Fig. 4 abgebildeten jungen Lymphocystiszellen diejenigen Stadien des Zelleinschlusses heraus, auf denen er noch ein kugelförmiges oder ovales Körperchen darstellt, so erinnert das Bild tatsächlich sehr an die von den Einschlußkörperchen der Chlamydozoenkrankheiten gegebenen Figuren. Das Auswachsen zu einem Netz

[1] S. von Prowazek, *Chlamydozoa*. Arch. f. Protistenk. Bd. 10, 1907.

könnte dann in Beziehung zu der gewaltigen Hypertrophie der Wirtszelle gesetzt werden, die bei den bisher beschriebenen Chlamydozoenkrankheiten vermißt wird.

Ein Teil der zum Schluß aufgeworfenen Fragen läßt, abgesehen von der weiteren morphologischen Untersuchung, auch eine experimentelle Prüfung zu. Ob der Erreger in den Lymphocystiszellen selbst seinen Sitz hat, muß sich aus der Feststellung ergeben, ob möglichst isolierte zerquetschte Lymphocystiszellen zum Wasser beigemengt bereits eine Ansteckung herbeiführen, ohne daß die Versuchsfische noch außerdem mit den Sekreten und Exkreten lebender erkrankter Tiere in Berührung kommen. Vielleicht ist es außerdem möglich, durch Filtrationsversuche festzustellen, welche Größe der der Krankheit zugrunde liegende Erreger höchstens haben kann.

Ausgegeben am 23. Juli.

1914.
XXXI.

SITZUNGSBERICHTE
DER
KÖNIGLICH PREUSSISCHEN
AKADEMIE DER WISSENSCHAFTEN.

16. Juli. Sitzung der philosophisch-historischen Classe.

Vorsitzender Secretar: Hr. Roethe.

1. Hr. Erman besprach die religiöse Reform Amenophis' IV. (Ersch. später.)

Die Reform hat weniger Neues gebracht als Altes beseitigt; beseitigt sind insbesondere alle Götter ausser dem Sonnengott sowie alles Mythologische und Übernatürliche. Der Glaube trägt einen gemeinverständlichen Charakter und hat auch das nationale Moment fast verloren. Man unterscheidet mehrere Entwicklungsstufen, in denen er immer radikaler gestaltet wird.

*2. Hr. Koser legte vor: Neue Mittheilungen aus dem Briefwechsel des Akademiepräsidenten Moreau de Maupertuis.

Nachträge zu dem in den »Publicationen aus den Preussischen Staatsarchiven« Bd. 72 veröffentlichten Briefwechsel Friedrich's des Grossen mit Maupertuis; Briefwechsel zwischen dem Prinzen August Wilhelm von Preussen und Maupertuis 1745 bis 1751; Briefe fürstlicher Persönlichkeiten an Maupertuis 1737—1752.

3. Das correspondirende Mitglied Hr. Robert in Halle übersandte eine Mittheilung über den Genfer Pheidias-Papyros.

Eine von Hrn. Christian Jensen vorgenommene Nachvergleichung des Papyrus hat mit Sicherheit ergeben, dass ein Commentar zu einer Rede vorliegt, deren Persönlichkeiten in die Zeiten des lamischen Krieges zu weisen scheinen. Wahrscheinlich ist der genannte Pheidias nicht mit dem Bildhauer zu identificiren. Wenn es auch nicht gelingen kann, bei dem trümmerhaften Zustande des Papyrus den vollen Text herzustellen, so ist jedenfalls seine Verwendung zur Aufhellung des Pheidiasprocesses nunmehr unmöglich geworden.

4. Hr. Ed. Meyer überreichte sein Buch »Reich und Cultur der Chetiter« (Berlin 1914).

Über den Genfer Pheidias-Papyros.

Von Carl Robert.

Seit vor zwei Jahren Hr. Jules Nicole zwei kleine Papyrosfetzen, nach seiner Schätzung aus dem Anfang des dritten nachchristlichen Jahrhunderts, veröffentlicht hat[1], auf denen er ein den Prozeß des Pheidias behandelndes Bruchstück aus Apollodors Chronik zu erkennen glaubte, ist die archäologische Wissenschaft nicht müde geworden, sich mit diesem Funde zu beschäftigen[2]. Zwar die Autorschaft Apollodors hat wohl niemand dem hochgeschätzten Herausgeber geglaubt; aber doch meinte man dem Fragment für das Problem von Pheidias' Ausgang ein entscheidendes Gewicht beilegen zu dürfen. Auch das meiner Ansicht nach mit Unrecht. Denn daß die Legende von Pheidias' Flucht nach Elis schon im vierten Jahrhundert existierte, wußten wir bereits durch Philochoros. Fänden wir sie hier wirklich in breiterer Ausmalung, so würde das für ihre Authentizität nicht das geringste beweisen, solange nicht die kristallklare Argumentation von Hrn. Löschcke[3] widerlegt ist, gegen die man bis jetzt nur mit Binsen Sturm gelaufen ist. Vor allem aber gilt es die Vorfrage zu erledigen, ob denn in diesen Satztrümmern überhaupt von dem Künstler Pheidias und seinem Prozeß die Rede ist.

Selbstverständlich ist dies nämlich keineswegs. Denn zunächst muß es auffallen, daß dreimal der Name ΝΙΚΌΠΟΛΙϹ erscheint (A 13. 17, B 20), der für die Zeit des Pheidias, sowohl bei einer Stadt als bei einer Frau, etwas befremdlich ist[4]. Den Namen des Anklägers Menon hat allerdings Hr. Nicole zweimal ergänzt (A 7, B 19); aber diese Stellen lassen auch andere Ergänzungen zu, und es steht a priori keineswegs fest, ob überhaupt ein Nomen proprium dagestanden hat. Ebenso erscheint die Lesung des Archontennamens Morychides (440/439) in der ersten

---

[1] J. Nicole, Le procès de Phidias dans les chroniques d'Apollodore d'après un papyrus inédit de la collection de Genève. Genève 1910.

[2] Eine Übersicht der wichtigsten Literatur gibt A. Frickenhaus, Arch. Jahrb. XXVIII, 1913, S. 346 A. 1.

[3] Historische Aufsätze für Arn. Schäfer S. 36 ff.; vgl. auch Hermes XXIII, 1888, S. 444 ff.

[4] Der älteste Beleg für Attika ist eine Grabstele des 4. Jahrhunderts, Conze, Attische Grabreliefs 763, IG II 2287; Kirchner, Prosopogr. 10989, vgl. 13318 (nach 325?, s. Kirchner 13362).

Zeile von A mindestens fragwürdig. Als Eigennamen sicher greifbar sind, außer Pheidias und Nikopolis, nur Leosthenes A 6 und, allerdings unsicher ergänzt, Euthygenes A 10. Aber Träger dieser Namen, die mit dem Prozeß des Pheidias etwas zu tun gehabt oder in dem politischen Leben der damaligen Zeit irgendeine Rolle gespielt hätten, kennen wir nicht, und Εὐθυγένους mit Hrn. Nicole als Schreibfehler für Εὐθυμένους anzusehen, heißt als bereits feststehend voraussetzen, was erst bewiesen werden soll. Bei dieser Sachlage scheint die Frage berechtigt, ob mit Leosthenes nicht der berühmteste Träger dieses Namens, der Held des lamischen Krieges, gemeint sein könne, und wenn wir weiter sehen, daß ungefähr um diese Zeit ein Εὐθυγένης Ἡφαιστοδήμου Κηφισιεύς als γραμματεύς fungierte[1] und daß in der Diaitetenliste vom Jahre 325 ein Φειδίας Φειδίου Παλληνεύς erscheint, so lohnt es doch zu untersuchen, ob wir statt eines Berichts über den Prozeß des Pheidias nicht vielmehr eine Erzählung des lamisches Krieges vor uns haben.

Die Entscheidung hing von einer Nachprüfung des Originals ab, die, nachdem ein Gelehrter vom Rufe des Hrn. Nicole vorangegangen war, nur von einem Papyrosleser ersten Ranges vorgenommen werden konnte. Auf meine Bitte hat sich Hr. Christian Jensen auf der Rückreise von Kairo im April 1913 dieser Aufgabe unterzogen[2], wofür ihm die Fragmente von der Genfer Bibliotheksverwaltung in liberalster Weise zur Verfügung gestellt wurden. Seine Abschrift mit der von ihm selbst beigefügten adnotatio bringe ich hiermit zur Kenntnis der Akademie:

A

Ν]Α[Ϲ]ΧΕΙΔ[Ι]Α

Θ]ΕΛΗϹΟΥϹΙΝΠ[Ε]Ρ[Ι

ΓΛΑΥΚΑΕΝΓΙϹΤΑΕΠΙ.⌒⌒

(.) = Raum für einen schmalen Buchstaben. Das Fragment ist zu klein, um die Form der einzelnen Buchstaben genau zu bestimmen. Auf der linken Hälfte des Blattes ist die Schrift fast ganz abgeschabt, so daß einzelne kleine Reste oft nicht mehr gedeutet werden können.

1 Μο[ρ]υχειδου Nic. halte ich für ausgeschlossen. An dritter Stelle ist c wahrscheinlicher als ε. πασχει halte ich für möglich. — 2 Ρ[ι und 3 ⌒⌒ stehen auf einem losen Blättchen.

---

[1] IG II 185. 186. 189. Suppl. 185 b (aus dem Jahre 322/1), Kirchner, a. a. O. 5512.

[2] Man wird uns vielleicht zum Vorwurf machen, daß wir mit der Veröffentlichung dieser Nachkollation so lange gezögert haben. Es geschah in der Hoffnung, zu festeren positiven Resultaten zu gelangen. Aber angesichts der neuesten Besprechung des Papyros können wir die Verantwortung dafür nicht länger auf uns annehmen, daß so viele unserer besten archäologischen Köpfe ihren Scharfsinn an ein Phantom verschwenden. Zur Zeit scheint das negative Resultat wichtiger als alle etwa noch zu erhoffenden positiven.

Ι̣Α̣]Ι̣..ΠΛΗΘΟCΑΠΟΤΩΝ[Ε̣
5 Ι̣ΑΙ...Ο̣ΥΛΗΝΗΛΘΟΝΠ̣[Ο̣
ΠΟ̣[....Μ̣Ε̣]Ν̣ΟΙ ΛΕΩC̣Θ̣Ε[Ν̣
ΙΚ̣..Ο̣..Η̣]Π̣ΕΡΙΤΗC¯..(.)ΕΝC̣
C̣[Τ̣]ΟΦΙΛ.(.)Ο̣ΥΝΤΟΤ̣ΕΗΝ ΟΙΚ
ΙΕ̣.ΝΑΙ̣Π̣Α̣ΝΤΑC̣ΑΠΟΦΕΙΔΙΟΥ ΚΛ
10 ¯ΕΝ̣ΟΥC̣[Α̣].Χ̣ΗΝ ΛC....Π̣Ο̣COCΕ
\Η̣..Ο̣Π̣Λ̣ΕΙCΤΟC..ΤΟΠΕΡΙ¯
¯ΕΝΟΥΝΕΙC
Δ[Ε̣]ΚΑΙΝΕ̣ΙΚΟΠ
Τ̣]ΑΙΑΥΤΟΙC[Α̣]ΓΕΝΝΕ̣CΤ
15 Ι̣Ο̣ΥΓΕΝΟ[Υ̣C̣]ΟΝΟΜΑΤΙ
Τ̣Η..Π̣ΑΥ̣ΤΟΙCΜ̣
Κ̣].Π̣ΟΛ[Ε̣]Ι̣ΤΗ̣.ΦΕΙΔΙΑ
Μ̣]Ο̣ΙΑ.[Α̣]CΙΝΗΛΕΙΟΙ Τ̣

4 Es sind am Anfang Buchstabenreste sichtbar, die ich nicht deuten kann. [Α̣]Γ̣ oder Α̣]Ν halte ich für möglich. — 5 Die erste Hasta ist etwas schräg nach links geneigt. Über der Lücke war scheinbar etwas übergeschrieben: [ΑΚ]? — βουλήν ist ebensogut möglich wie δούλην Nic. — 6 Zwischen ι und λ ist ein Spatium frei gelassen. — 7 Die Buchstaben [Κ̣] und [Η̣] sind ganz unsicher. Da zwischen [Η̣] und Π̣ ein Riß durch den Papyros geht, ist Nicoles Ergänzung ο[ὔ]ντ[ο] nicht unmöglich. Am Schluß der Zeile ist das Spatium für die Ergänzung τ[ο? Μ]ένω[νος (Nicole) etwas zu klein. — 8 Das erste C̣ (?) ist sehr lang ausgezogen, so daß es weit unter den Buchstabenrand hinausreicht, der folgende Buchstabe [Τ̣] ist ganz schattenhaft. Am Schluß ist zwischen ν und ο ein Spatium frei gelassen. — 9 εἶναι πάντας ἀπὸ Φειδίου ist möglich. Nach Φειδίου ein kleines Spatium. — 10 ἀρχὴν Nic. ist sehr wahrscheinlich. Nach ἀρχὴν ein kleines Spatium. — 15 An erster Stelle sehe ich am oberen Buchstabenrand den Ansatz zu einer senkrechten Hasta, die wohl nicht zu einem τ gehörte, da von einem Querstrich keine Spur erkennbar ist. — Nach τι ist Spatium. — 16 Statt Π̣ΑΥΤΟΙC ist auch möglich πᾶσι τοῖς. — 17 Der erste Buchstabe war Ν̣ oder Κ̣. Der folgende Zwischenraum faßt nur einen Buchstaben. — 18 Ob der erste Buchstabe ein Μ (Nicole) war, ist mir zweifelhaft. Das folgende ο ist mit ι ligiert und sieht einem Δ sehr ähnlich. Ich ergänzte angesichts des Papyrus: ὅμοιά φασιν Ἠλεῖοι. Nach ΗΛΕΙΟΙ ein kleines Spatium, darauf Τ̣ oder Π̣.

B

Α̣Ρ̣ΔΙ
ΤΟΤ̣[Ε]ΠΑΛΙ
Η̣ΤΗΝΙCΟΤ[
Ν ΕΑΝΕ
5 ΤΙΘΕΑCΙΤΟ
ΑΘ]Η̣ΝΑ̣ΙΟΝ Υ
ΤΩΝΔΙΚΑ[CΤΩΝ
ΕΜ̣]ΕΙΝΑΝΕΠΙ̣

4 Zwischen ν und ε Spatium. — 6 Zwischen ν und υ Spatium.

ΠΕΛΟΠΟΝΝΗϹ]ΙΑΚΟΝΑΥ!ϹΙ
10 ΔΙΕΚΘΡΑϹΤΟΔ[Ε
ΟΛΥ]ΜΠΙΟΙϹΑΝΤΙΚ
Ε]ΠΡΟΕΔΡΕ[Ι]ΑΝΑ
ΑΝΘΡΩΠΟΙϹΕΘ
ΟΤΟΙΝΥΝΑ[Μ
15 ΔΙ]ΑΤΗϹΑ[ΥΤ]ΗϹ
Ϲ]ΙΟΙϹΟΔΟΝΑΓ[Ε
ΕΙΝΟΥΠΕΜΦ[Θ
ΒΗΤΗΝΕΚΓΕΝΟΥϹ
ΟΩΝΕΠΑΥΤΟ
20 Μ]ΟΠΟΛΕΙΤΑΙ[Π

16 Von [ϲ] ist nur der obere Teil erhalten, der mit dem ι ligiert ist. — 17 ΕΚ]ΕΙΝΟΥ ist möglich.

Das Bild hat sich geändert. Der Archon Morychides ist verschwunden; ebenso der Ankläger Menon. A 13 ist zwar Νεικοπ geblieben, aber A 17 ist nach Hrn. Jensens brieflicher Bemerkung nur die Ergänzung Νεικοπολείτηϲ möglich, und so wird man auch A 13 das Ethnikon herstellen müssen, während B 20 eine andere Ergänzung gefordert wird; entweder, wie Hr. Otto Kern meint, ὁμοπολεῖται oder, wie Hr. Bechtel vorschlägt, Ἑρμοπολεῖται. Geblieben ist vor allem Leosthenes. A 15 scheint, da der erste Buchstabe kein τ sein kann, Ε]ὐαγένουϲ gegeben, welche Ergänzung auch Hr. Jensen brieflich für möglich erklärt. Dann wird aber derselbe Name auch am Anfang von A 10 herzustellen sein, wie auch Hr. Nicole vorgeschlagen hatte.

Von prinzipieller Bedeutung aber ist folgendes. Ein so großer Spielraum auch dem Scharfsinn bei unbekannter Zeilenlänge für die Ergänzung der jeweilig erhaltenen 3 bis 12 Silben frei bleibt, auch der ausschweifendsten Phantasie wird es kaum gelingen, zwischen den einzelnen Sätzen, die, soweit sich ihr Sinn erraten oder ahnen läßt, ganz heterogene Dinge behandeln, Zusammenhang herzustellen. Um eine fortlaufende Erzählung kann es sich nicht handeln. Die Lösung hat Hr. Christian Jensen alsbald gefunden und mir noch von Genf aus brieflich mitgeteilt: wir haben es mit dem Kommentar zu einer Rede zu tun, einem Seitenstück zu dem Berliner Demostheneskommentar des Didymos, jedoch ohne Lemmata und bei weitem kürzer, vielleicht einer Epitome. So erklären sich auch, wie gleichfalls Hr. Jensen gesehen, die Spatien zwischen den einzelnen Abschnitten, die Hr. Nicole zu der Annahme von Versen verführten und die, bei anderer Sachlage, da sie nicht breiter sind als ein großer Buchstabe, auch einfach Satztrennung bedeuten könnten. Auf Grund dieser Spa-

tien lassen sich auf A sieben, auf B drei Abschnitte unterscheiden. Wir haben aber mit der Möglichkeit oder vielmehr der Wahrscheinlichkeit zu rechnen, daß auch auf die verlorenen Teile der Zeilen solche Spatien fielen, so daß die Zahl der Abschnitte in Wirklichkeit viel größer sein dürfte. Aber wir können uns zunächst nur an das Erkennbare halten. Ich zerlege also bei der Transkription den Text vorläufig nur in diese zehn Abschnitte. Die Ergänzung beschränkt sich auf einzelne Worte und bleibt auch hier vielfach unsicher. Doch lassen sich zwei Miniatursätzchen gewinnen. Längere Sätze zu ergänzen ist unmöglich. Für die einzelnen Lesungen verweise ich auf Hrn. Jensens adnotatio:

A I πά̣ϲ̣χει διὰ
ἐ]θελήϲουϲιν π̣ε̣ρ̣ὶ
γλα̣ῦ̣κα ἔνγιϲτα ἐπὶ [τ]ο̣ῦ̣
ἀ]π̣άγ̣[ει] πλῆθοϲ ἀπὸ τῶν ε̣
5 ἐ]ν̣άγ̣[ει β]ουλήν. ἦλθον π̣ο̣[λλοὶ
το̣ . . . . μενοι.
II Λεωϲ̣θ̣έν̣[ηϲ
ικ̣ . . ο̣ . . η̣ περὶ τῆϲ ¯ . . . ενϲ̣
ϲ̣τ̣ο. φίλ[οϲ] οὖν τότε ἦν.
III οἴκ
ι ε[ἶ]ναι π̣άνταϲ̣ ἀπὸ Φειδίου.
IV κλ
10 Εὐθυ]γ̣έν̣ουϲ̣ ἀ[ρ]χήν.
V λέ̣[γει ὁ] π̣ό̣ϲοϲ ε
λ̣η̣ . . ο̣ π̣λ̣εῖϲτοϲ [ἐϲ] τὸ περὶ τ̣
¯εν οὖν εἰϲ
δὲ καὶ Νεικοπ̣[ολείτηϲ
χρῆ]τ̣αι αὐτοῖϲ ἀ̣γεννέ̣ϲτα[τα
15 Ε]ὐ̣θ̣υ̣γένουϲ ὀνόματι
VI τ̣η . . π̣ᾶϲ̣ι τοῖϲ μ
Νει]κ̣[ο]πολείτη̣. Φειδία
ὅ]μοιά [φ]α̣ϲιν Ἠλεῖοι.
VII τ̣

1 Oder: ἐκεῖ]ν̣α̣ ἔ̣χει διὰ.

B I γ]ὰ̣ρ̣ δι
τ̣ότ̣[ε] πάλι[ν
η τὴν ἰϲοτ[έλειαν
ν.
II ἐὰν ε
5 τιθέαϲι το
Ἀθ]ηναῖον.

III

Υ
τῶν δικα[στῶν
ἔ]μειναν ἐπὶ
Πελοποννησ]ιακὸν αὐτοῖ[ς
10 δι' ἔχθρας τόδε
Ὀλυ]μπίοις ἀντικ
δ]ὲ προεδρε[ί]αν α
ἀνθρώποις εθ
ὁ τοίνυν αμ
15 δι]ὰ τῆς αὐτῆς
Πελοποννησ]ίοις ὁδὸν ἀγε
ὑπ'] ἐκείνου πεμφθ[εὶς
θη τὴν ἐκ γένους
ρων ἐπ' αὐτὸ
20 δ]ημοπολεῖται π

10 ἐκθρας Pap. — 16 von Jensen, 20 von Kern ergänzt. — Die meisten übrigen Ergänzungen hatte bereits Nicole gefunden.

Entscheidend ist hier das zweimal vorkommende Νεικοπολείτης. Denn da unseres Wissens Alexander der erste war, der eine Stadt dieses Namens zur Erinnerung an den Sieg von Issos gegründet hat, so erhalten wir einen terminus post quem, der auf dieselbe Periode hinweist wie die Namen Leosthenes und Euthygenes. Andererseits aber eröffnet sich, wenn wir es anders wirklich mit dem Kommentar zu einer Rede zu tun haben, nun doch wieder die Möglichkeit, daß mit Pheidias nicht der Diaitet von 325, sondern der Bildhauer gemeint ist. Denn warum hätte der Redner nicht auch irgendein Erlebnis dieses Künstlers exemplifikatorisch erzählen können? Und wenn Hr. Jensen richtig kurz hinter der zweiten Erwähnung des Pheidias ὁμοιά φασιν Ἠλεῖοι ergänzt hat, so könnte das darauf hinzudeuten scheinen, daß in der Tat von des Pheidias Beziehungen zu Elis die Rede war. Indessen auch in diesem Fall würden wir für die chronologische Frage nichts gewinnen, ja überhaupt nichts Neues lernen, sondern nur in den Papyros hineinlesen, was wir schon wissen. Dies gilt auch von der ersten Erwähnung des Namens. Die Worte εἶναι πάντας ἀπὸ Φειδίου könnte man darauf beziehen, daß die mit der Reinigung des Zeusbildes betrauten φαιδρυνταὶ Nachkommen des Pheidias waren[1]. Etwas bedenklich

[1] Paus. V 14, 5, bestätigt durch die olympische Inschrift 466: Τίτον Φλάουιον Ἡράκλειτον τὸν ἀπὸ Φειδίου φαιδυντὴν τοῦ Διός. Vgl. R. Schöll, Münchener Sitz.-Ber. 1888, S. 42. Wenn ich früher diesen Stammbaum für fiktiv gehalten habe (Herm. XXIII, 1888, S. 452 ff.), so bin ich von dieser Skepsis längst zurückgekommen. Aber auch heute noch bestreite ich die Bündigkeit des Schlusses, daß deshalb Pheidias in Elis gestorben sein müsse. Daß es seinem Sohn oder seinen Söhnen in Athen, nachdem ihr Vater im Gefängnis gestorben war, bevor sein Prozeß zum Austrag kam,

ist dabei allerdings, daß zwischen diesen beiden Erwähnungen des Pheidias, falls es der des 5. Jahrhunderts war, von Persönlichkeiten und Verhältnissen des 4. Jahrhunderts, von Euthygenes, von einem Mann aus Nikopolis und von jemandem, der sich ungebührlich benommen hat, die Rede ist. Aber allerdings können wir nicht wissen, welche der Sprünge der Redner in seinem Plaidoyer gemacht hat. Hingegen liegt eine kaum überwindliche Schwierigkeit in der engen Nachbarschaft, in der an der zweiten Stelle der Namen Φειδία. mit dem Ethnikon Νεικοπολείτηι. erscheint. Selbst wenn beide nicht miteinander zu verbinden wären, was doch eigentlich eine unumgängliche Annahme ist, so gehören sie doch zu demselben Satz. Was aber kann der Schöpfer des olympischen Zeus mit einem im 4. Jahrhundert lebenden Bürger von Nikopolis zu schaffen gehabt haben? Hingegen ist die Verbindung des Pheidias mit den Ἠλεῖοι nicht so unauflöslich. Nichts hindert uns anzunehmen, daß zwischen Φειδία. und ὅμοια ein neuer Abschnitt begann. So reduziert sich die Möglichkeit, in dem Papyros den Bildhauer Pheidias zu finden, auf ein Minimum. Weitaus das Wahrscheinlichste ist, daß weder von diesem noch von dem Diaiteten des Jahres 325, sondern von einem Manne aus Nikopolis die Rede war.

Völlig ohne Beweiskraft ist die A 3 erscheinende Eule, die Hr. Nicole mit der sprichwörtlich gewordenen, von Pheidias gefertigten γλαῦξ ἐν πόλει[1] identifizieren wollte. Es gibt doch auch noch andre

---

unbehaglich wurde, ist doch sehr begreiflich; ebenso daß sie sich nach Elis wandten und dort als mit der Goldelfenbeintechnik vertraute Künstler freundliche Aufnahme fanden. Denkbar wäre ja auch, daß Pheidias für sich und die Seinen das elische Bürgerrecht erhalten hätte, obgleich das nicht überliefert ist, und dies seine Söhne veranlaßte, gerade nach Elis zu gehen. Aber diese Ehrung konnte Pheidias ebensogut 450 wie nach 437 zuteil werden. Für die Frage nach dem Ort seines Todes ergibt sich daraus nicht das geringste.

[1] Hiergegen haben schon Jacoby und Frickenhaus protestiert, obgleich für beide noch feststand, daß der Papyros den Prozeß des Pheidias behandele. Ich muß aber doch bei diesem Punkte noch einen Augenblick verweilen, um daran zu erinnern, was es mit diesem Werk des Pheidias für eine Bewandtnis hat. Denn obgleich schon vor 30 Jahren Kieseritzky das Richtige ausgesprochen hat (Ath. Mitt. VIII, 1883, S. 304), scheint dies immer wieder vergessen zu werden. So hat A. Frickenhaus (Ath. Mitt. XXXIII, 1908, S. 23ff.) diese Eule des Pheidias mit der χρυσῆ γλαῦξ identifizieren wollen, die in den ebenda zum erstenmal von ihm methodisch behandelten Inventarfragmenten als Attribut des alten Athenaxoanons aufgezählt wird. Pheidias habe auf Grund eines eigenen Volksbeschlusses eine goldene Eule an dem alten Kultbild anbringen dürfen, und in der Annahme dieser Weihung habe eine besondere Ehrung für den Schöpfer des neuen Tempelbildes gelegen. Erschlossen wird das aus der bekannten Stelle im Ὀλυμπικός des Dion von Prusa, wo von der Eule gesagt wird (XII 6): ὑφ' ἧς (scil. δαιμονίας τινὸς βουλήσεως) καὶ τῆι Ἀθηνᾶι λέγεται προσφιλὲς εἶναι τὸ ὄρνεον, τῆι καλλίστηι τῶν θεῶν καὶ σοφωτάτηι, καὶ τῆς γε Φειδίου τέχνης παρὰ Ἀθηναίοις ἔτυχεν, οὐκ ἀπαξιώσαντος αὐτὴν συγκαθιδρῦσαι τῆι θεῶι, συνδοκοῦν τῶι δήμωι.

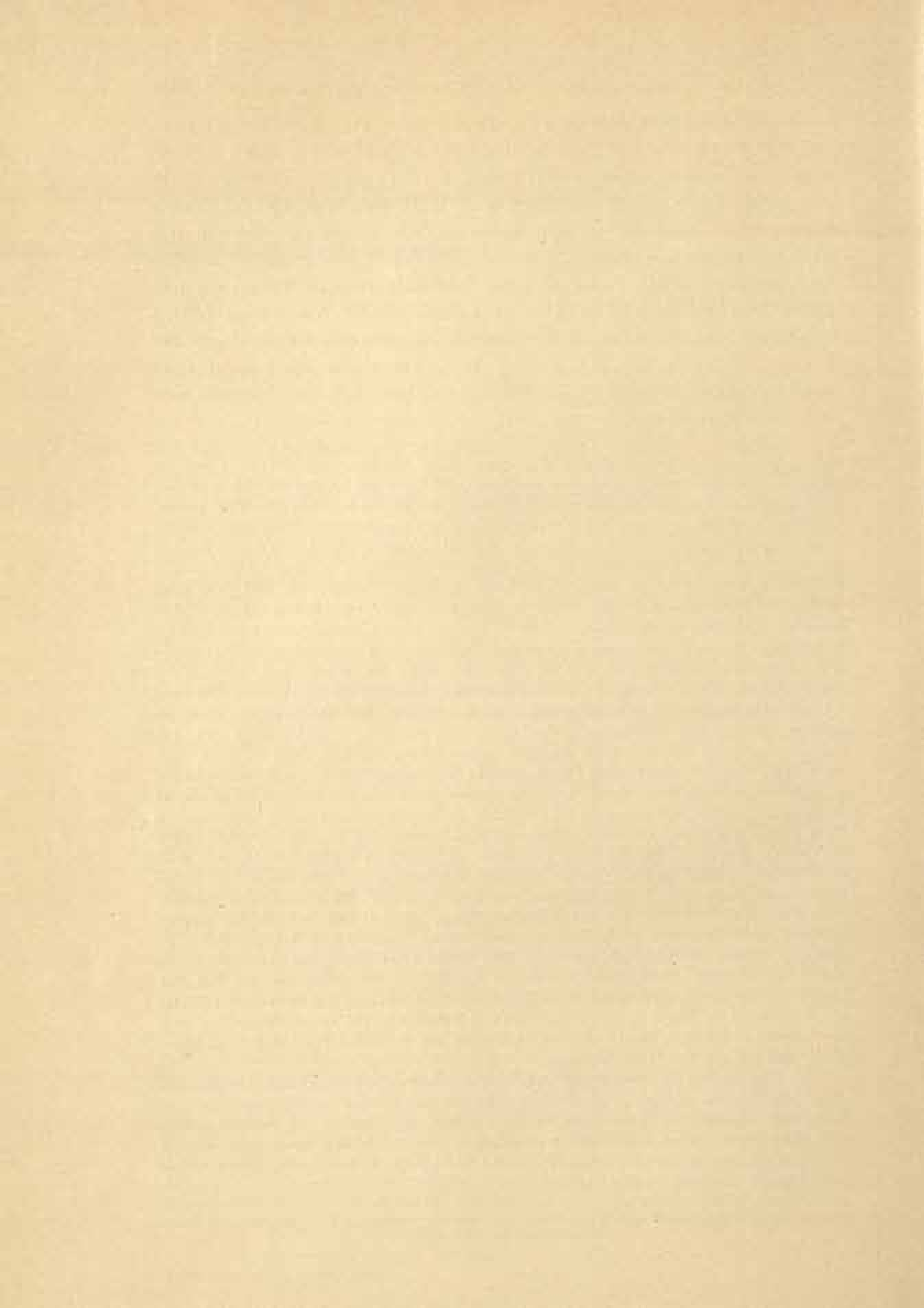
Eulen als die des Pheidias, vor allem solche von Fleisch und Blut, und wie eine wirkliche Eule in der Rede angebracht werden konnte, zeigt z. B. Dion von Prusa XII 1 und LXXII 14. 15[1]. Daß die βουλή in A I, die δικασταί und die Ὀλύμπια in B III ebensowenig zum Beweis dafür geltend gemacht werden können, daß es sich gerade um den Prozeß des Pheidias handelt, braucht jetzt kaum mehr gesagt zu werden. Ebenso würde es ein müßiges Spiel sein, von dem Sinn der einzelnen Abschnitte mehr erraten zu wollen, als die wie gesagt höchst unsicheren und meist nur beispielsweise eingesetzten Ergänzungen andeuten. Wer der kommentierte Redner war, dafür fehlt jeder feste Anhalt. Immerhin mag darin erinnert werden, daß für Deinarch eine Rede ὑπὲρ Εὐθυγένους bezeugt ist.

Aber kann man die nachträgliche Zufügung eines Attributs mit συγκαθιδρύειν bezeichnen? In dem attischen Dionysiastendekret, IG II v 622 e 17, auf das sich Frickenhaus seltsamerweise für diesen Sprachgebrauch beruft, steht vielmehr der zu erwartende korrekte Terminus προσιδρύσατο, wo es sich um die Aufstellung eines zweiten ἄγαλμα des Gottes neben dem eigentlichen Kultbild handelt. An den wenigen Stellen, die die Lexika für συνιδρύειν oder συγκαθιδρύειν anzuführen wissen, ist immer von der gleichzeitigen Weihung zweier Kultbilder die Rede: Schol. Arist. Ran. 326: συνίδρυται τῆι Δήμητρι ὁ Διόνυσος, Plutarch de aud. p. 44 F: τὸν Ἑρμᾶν ταῖς Χάρισιν οἱ παλαιοὶ συγκαθίδρυσαν, praec. conj. p. 138 D: οἱ παλαιοὶ τῆι Ἀφροδίτηι τὸν Ἑρμᾶν συγκαθίδρυσαν. So muß auch jene Eule von Anfang an einen integrierenden Bestandteil der Athenastatue gebildet haben. Daß aber diese nicht das alte Xoanon, sondern die Parthenos ist, erkennt man, wenn man den Satz des Dion zu Ende liest: Περικλέα δὲ καὶ αὑτὸν λαθὼν ἐποίησεν, ὥς φασιν, ἐπὶ τῆς ἀσπίδος. Der Gedanke ist: die Eule brachte Pheidias augenfällig und offenkundig an, und das souveräne Volk hatte bei der Abnahme des Bildes nichts dagegen einzuwenden, erklärte sich vielmehr stillschweigend damit einverstanden (mehr braucht in συνδοκοῦν τῶι δήμωι, das deutlich zu λαθών den Gegensatz bildet, nicht zu liegen und liegt auch gewiß nicht darin; von einem eigenen Volksbeschluß ist nicht die Rede; τῆι θεῶι ist nicht, wie Frickenhaus glaubt, einem solchen entnommen, sondern bezieht sich auf die vorausgehenden Worte: τῆι Ἀθηνᾶι ... τῆι καλλίστηι τῶν θεῶν καὶ σοφωτάτηι zurück). Aber sein und des Perikles Porträt mußte Pheidias heimlich einschmuggeln. Wo diese Eule angebracht war, lehren die Goldmedaillons aus dem Tumulus von Koul-Oba (Ath. Mitt. VIII, 1883, Taf. XV): auf der linken Backenklappe ihrer Herrin hat sie sich niedergelassen, nicht dekorativ zu denken, sondern ebenso lebendig wie das zweite heilige Tier der Athena, die Schlange, die unter dem Schild Platz genommen hat. Eine ältere Statue der Athena Archegetis, die uns die Innenbilder der Theseusschale aus der Fabrik des Euphronios (Furtwängler-Reichhold, Vasenmalerei Taf. 5) und der Iasonschale im Vatikan (Mon. d. Inst. II 34; Helbig, Führer[3] I 578) veranschaulichen, trug das Käuzchen auf der Hand; bei der Parthenos hat es diesen Platz der Nike überlassen und ist auf den Helm geflogen.

[1] Namentlich die erste Stelle ἐκείνην γὰρ (τὴν γλαῦκα) οὐδὲν σοφωτέραν οὖσαν αὐτῶν οὐδὲ βελτίω τὸ εἶδος, ἀλλὰ τοιαύτην ὁποίαν ἴσμεν, ὅταν δήποτε φθέγξηται λυπηρὸν καὶ οὐδαμοῦ ἡδύ, περιέπουσι τὰ ἄλλα ὄρνεα, καὶ ὅταν γε ἴδηι μόνον, τὰ μὲν καθιζόμενα ἐγγύς, τὰ δὲ κύκλωι περιπετόμενα κτλ. Danach könnte man versucht sein A 3 zu ergänzen: περὶ τὴν] γλαῦκα ἔγγιστα ἐπὶ τοῦ [δένδρου καθιζόμενα. Aber natürlich ist auch sehr viel anderes denkbar.

Ausgegeben am 23. Juli.

Berlin, gedruckt in der Reichsdruckerei.



1914.
XXXII.

SITZUNGSBERICHTE

DER

KÖNIGLICH PREUSSISCHEN

AKADEMIE DER WISSENSCHAFTEN.

23. Juli. Gesammtsitzung.

Vorsitzender Secretar: Hr. Waldeyer.

1. Hr. Planck sprach über eine veränderte Formulierung der Quantenhypothese. (Ersch. später.)

Es wird die Vorstellung entwickelt, daß nicht nur die Absorption, sondern auch die Emission von Wärmestrahlung seitens eines elementaren Oszillators vollkommen stetig, nach den Gesetzen der klassischen Elektrodynamik, erfolgt, und daß die Quantenwirkung lediglich zwischen den Oszillatoren und den mit ihnen zusammenstoßenden frei herumfliegenden Partikeln (Molekülen, Ionen, Elektronen) stattfindet. Aus dieser Annahme lassen sich ebenfalls die bekannten Strahlungsgesetze ableiten.

2. Hr. von Wilamowitz-Moellendorff legte eine Mitteilung der HH. Max Frhr. von Oppenheim und Prof. Dr. Friedr. Frhr. Hiller von Gaertringen vor.

Frhr. von Oppenheim in Berlin teilt einen Inschriftfund aus der Nachbarschaft von Edessa mit, der eine neue Fassung des bekannten Briefes Jesu an Abgar aus dem Ende des 4. oder den ersten Jahrzehnten des 5. Jahrhunderts darstellt und wegen seiner Betonung des edessenischen Lokals und der Person des Apostels Thomas auch für die spätere byzantinische Ausgestaltung der Überlieferung als ältestes Exemplar dieser Art von Wert ist. Diese Folgerungen werden von Frhrn. Hiller von Gaertringen gezogen, der die Inschrift gelesen und bearbeitet hat.

3. Das correspondirende Mitglied Hr. August Leskien in Leipzig hat am 14. Juli das fünfzigjährige Doctorjubiläum gefeiert; die Akademie hat ihm bei diesem Anlass eine Adresse gewidmet, welche unten im Wortlaut abgedruckt ist.

Die Akademie hat in der Sitzung vom 9. Juli die ordentlichen Professoren der classischen Philologie Joseph Bidez an der Universität Gent und D. Dr. Paul Wendland an der Universität Göttingen und in

der heutigen Sitzung den Reichsarchivar Dr. Samuel Muller Frederikzoon in Utrecht zu correspondirenden Mitgliedern ihrer philosophisch-historischen Classe gewählt.

Das ordentliche Mitglied der philosophisch-historischen Classe Alexander Conze ist am 19. Juli verstorben.

Höhleninschrift von Edessa mit dem Briefe Jesu an Abgar.

Von Max Freiherrn von Oppenheim und Prof. Dr. Fr. Freiherrn Hiller von Gaertringen.

(Vorgelegt von Hrn. von Wilamowitz-Moellendorff.)

Während meiner letzten zweieinhalbjährigen Expedition zur Ausgrabung der hettitischen Residenz von Tell Halaf bei Ras el 'Ain, dem Quellkopf des Chabur, in Mesopotamien und zu weiteren Forschungsreisen, die ich von meinem Expeditionshaus am Tell Halaf strahlenförmig ausführte, kam ich Dezember 1911 wieder nach Orfa-Edessa; ich hatte mich mehrere Wochen in Orfa aufzuhalten, um mich durch Luftveränderung von einer schweren Krankheit zu erholen. Diese Gelegenheit benutzte ich, um die schöne Stadt, in der ich bereits 1899 interessante Inschriften gefunden hatte[1], archäologisch nach allen Richtungen hin zu studieren. Hierbei wurde in einer Felsgrotte ein merkwürdiges Inschriftendenkmal gefunden. Die Grotte gehörte zu den zahlreichen Höhlen im Westen der Stadt, unweit der herrlichen Zitadelle aus der Abgarenzeit, die zu Gräbern der Vornehmen aus dem Felsen herausgemeißelt, gleichzeitig aber auch als Steinbrüche benutzt wurden. Das Höhlengebiet wird Kyrk Maghära = die 40 Höhlen (Grabhöhlen) genannt. In Wirklichkeit bedeutet 40 hier nur einen Sammelnamen, um eine große Anzahl darzustellen; die vorhandenen Grabhöhlen sind weit zahlreicher als 40. An einer dieser Höhlen war die gedachte Inschrift angebracht. Auf ihr tritt uns die Legende von dem Briefe Christi an den beim Heiland Heil suchenden Fürsten von Edessa in seiner eigenen Vaterstadt in Stein gemeißelt entgegen.

Ich werde im Anfang des kommenden Jahres abermals nach Mesopotamien zu meinem Tell Halaf zurückkehren müssen und behalte es mir vor, bei dieser Gelegenheit in Orfa die Grabhöhle mit der Ab-

[1] Vgl. Inschriften aus Syrien, Mesopotamien und Kleinasien in Beitr. z. Assyriologie u. semit. Sprachwissensch.: Arab. Inschr., bearb. von Prof. van Berchem, Bd. VII, 1, S. 58 ff., und Syr. Inschr., bearb. von Prof. Moritz, Bd. VII, 2, S. 165 ff.

gareninschrift genau topographisch aufzunehmen. Ich möchte jedoch jetzt schon die Inschrift zur Diskussion stellen. Hr. Prof. Freiherr Hiller von Gaertringen hat die große Güte gehabt, sich eingehend mit dem interessanten Schriftmaterial zu beschäftigen, die schwierige Schrift zu lesen und den gewiß nicht leichten Stoff in dem folgenden Exposé zusammenzufassen.

Die schriftliche Aufzeichnung des Briefwechsels zwischen Abgar V. Ukama von Edessa und Jesus Christus hat eine längere Vorgeschichte, auf die hier nicht eingegangen werden kann; es genüge, auf die Arbeiten von E. von Dobschütz, Der Briefwechsel zwischen Abgar und Jesus, in Hilgenfelds Zeitschrift für wissenschaftliche Theologie XLIII, 1900, 422 ff. und auf Kapitel V, Das Christusbild von Edessa, der Christusbilder desselben Verfassers zu verweisen. Es geziemt dem Schüler, honoris causa A. von Gutschmidts Untersuchungen über die Geschichte des Königreichs Osroene, Mém. de l'Ac. de St-Pétersbourg XXXV, 1, 1887, dazu Kleine Schriften Bd. III an zahlreichen, im Register unter Abgar und Edessa nachgewiesenen Stellen zu nennen. Reiche Literatur gibt Harnack, Christl. Literatur II, 533—540, vgl. diese Sitzungsberichte 1904, 910 ff. und Mission und Ausbr. des Christentums² II, 117 ff.; eine kurze geschichtliche Übersicht gibt Ed. Meyer in Wissowas Realenc. V, s. v. Edessa. Anderes wird unten angeführt. Gefördert haben mich Gespräche mit A. Deissmann, K. Holl, K. Meister, E. Schwartz und andern Sachverständigen; für die versuchte Lösung aber muß ich alle Verantwortlichkeit allein auf mich nehmen. Vom epigraphischen Problem ging ich aus; auch hier zeigte es sich aber, wie allerorten, daß man die Epigraphik nicht von den Gegenständen trennen kann. Als der letzte Herrscher von Edessa, Abgar IX., der von 179 an regierte, um 202 bei Kaiser Severus in Rom weilte, wohl erst später zum Christentum übergetreten war, entstand der Keim einer Legende, die sich nach seinem Tode (im Jahre 216) und der Aufsaugung seines Reiches durch die Römer weiter ausbildete, und die das Verhältnis des neunten Abgar zum Christentum auf den Vorfahr und Christus selbst übertrug. Die Legende, deren Kern ein Einladungsschreiben Abgars an Jesus und die Antwort des Herrn war, wurde zuerst in syrischer Sprache festgelegt; ihre griechische Fassung und damit erst ihre allgemeine Verbreitung erhielt sie durch die Kirchengeschichte des Eusebios, geschrieben 311/12. Seine Quellenangabe erinnert in Sache und Ausdruck an das, was A. Wilhelm an mehreren Orten, besonders in seiner bekannten Abhandlung über die öffentliche Aufzeichnung von Urkunden (Beiträge zur gr. Inschriftenkunde 1909, 229 ff.) und in der wuchtigen Anzeige von Ziebarths Kulturbildern aus

griechischen Städten (Z. österr. Gymn. XIII, 674 ff.) über die antiken Archive gesammelt und erläutert hat. Über dieses Archiv vgl. Ed. Meyer, Realenz. V, 1936; zur Zeit des Eusebios unterstand es offenbar dem römischen Staate.

Eusebios I, 13, S. 84 der Ausgabe von E. Schwartz: ἔχεις καὶ τούτων ἀνάγραπτον τὴν μαρτυρίαν ἐκ τῶν κατὰ Ἔδεσσαν τὸ τηνικάδε βασιλευομένην πόλιν γραμματοφυλακείων ληφθεῖσαν· ἐν γοῦν τοῖς αὐτόθι δημοσίοις χάρταις τοῖς τὰ παλαιὰ καὶ τὰ ἀμφὶ τὸν Ἄβγαρον πραχθέντα περιέχουσι, καὶ ταῦτα εἰς ἔτι νῦν ἐξ ἐκείνου πεφυλαγμένα εὕρηται, οὐδὲν δὲ οἷον καὶ αὐτῶν ἐπακοῦσαι τῶν ἐπιστολῶν, ἀπὸ τῶν ἀρχείων ἡμῖν ἀναλημφθεισῶν καὶ τόνδε αὐτοῖς ῥήμασιν ἐκ τῆς Σύρων φωνῆς μεταβληθεισῶν τὸν τρόπον.

Es folgen die Briefe, zuerst das ἀντίγραφον ἐπιστολῆς γραφείσης ὑπὸ Ἀβγάρου τοπάρχου τῷ Ἰησοῦ καὶ πεμφθείσης αὐτῷ δι᾽ Ἀνανίου ταχυδρόμου εἰς Ἱεροσόλυμα — von dem wir hier absehen können —; dann

τὰ ἀντιγραφέντα ὑπὸ Ἰησοῦ διὰ Ἀνανίου ταχυδρόμου τοπάρχῃ Ἀβγάρῳ.

μακάριος εἶ πιστεύσας εν ἐμοί, μὴ ἑορακώς με. γέγραπται γὰρ περὶ ἐμοῦ »τοὺς ἑορακότας με μὴ πιστεύσειν ἐν ἐμοί«, καὶ ἵνα »οἱ μὴ ἑορακότες με αὐτοὶ πιστεύσωσι καὶ ζήσονται«. περὶ δὲ οὗ ἔγραψάς μοι ἐλθεῖν πρὸς σέ, δέον ἐστὶ πάντα δι᾽ ἃ ἀπεστάλην ἐνταῦθα, πληρῶσαι καὶ μετὰ τὸ πληρῶσαι οὕτως ἀναληφθῆναι πρὸς τὸν ἀποστείλαντά με. καὶ ἐπειδὰν ἀναληφθῶ, ἀποστελῶ σοί τινα τῶν μαθητῶν μου, ἵνα ἰάσηταί σου τὸ πάθος καὶ ζωήν σοι καὶ τοῖς σὺν σοὶ παράσχηται.«

ταύταις δὲ ταῖς ἐπιστολαῖς ἔτι καὶ ταῦτα συνῆπτο τῇ Σύρων φωνῇ·

μετὰ δὲ τὸ ἀναληφθῆναι τὸν Ἰησοῦν ἀπέστειλεν αὐτῷ Ἰούδας, ὁ καὶ Θωμᾶς, Θαδδαῖον ἀπόστολον, ἕνα τῶν ἑβδομήκοντα . . .

Von Eusebios führen zahlreiche, labyrinthartig sich kreuzende und verschlingende Pfade weit hinab bis in das 11. Jahrhundert und noch darüber hinaus. Wir würden es nicht wagen, uns in diese Wildnis zu verlieren, wenn nicht Dobschütz in der angeführten Abhandlung Ordnung geschaffen und einen Ariadnefaden an die Hand gegeben hätte, von dem er selbst mit gutem Grunde hofft, daß er den Folgenden die Orientierung, zumal beim Auftauchen neuer Zeugnisse, erleichtern werde. Dazu tritt eine unvergleichlich reiche und im wesentlichen, wie es scheint, durchaus zuverlässige chronologische Basis für die Zeit bis Justinian, die von Hallier in Harnacks und Gebhardts Texten und Untersuchungen (1892) herausgegebene und eingehend erklärte syrische Chronik von Edessa. Was wir im folgenden ihr entnehmen, wird nicht weiter kenntlich gemacht; einige andere wichtige Zeugnisse aber reihen wir in den zeitlichen Zusammenhang ein. Erst dann kann versucht werden, den Fund von Freiherrn von Oppenheim zu verstehen

und ihm einen Platz in der Reihe anzuweisen. Wir können uns hier nur auf das für unsern Zweck Wichtigste beschränken; die eingehende Nachprüfung muß ja doch ohnehin den Kennern überlassen werden, die seit längerer Zeit in diesen Dingen zu Hause sind.

Ich gebe hier die Jahre der Chronik, nach der Seleukidenära, und die Umrechnung oder Umdeutung in christliche Jahre, wie sie Hallier unter Berücksichtigung der sonstigen Überlieferung durchgeführt hat.

624—312/13. Grundsteinlegung der Kirche von Edessa (Orhai).

»Die Kirche, deren Grundsteinlegung und Ausbau hier mitgeteilt wird, ist die einzige Kirche der Stadt Edessa gewesen, jedenfalls bis zu den Zeiten der arabischen Herrschaft, ›die große Kirche des Apostels Mar[i] Thomas‹, ›die große Kirche‹, ›die Kirche von Orhai‹, auch schlechthin ›die Kirche‹ genannt ... in welcher der Sarkophag des St. Thomas beigesetzt wurde« ... von dieser Kirche scheidet Josua Stylites die übrigen kirchlichen Bauten, die er mit »Märtyrerhaus«, »Märtyrerkapelle« bezeichnet. »In der sogenannten vierten Überschwemmung (525) zerstört, wurde sie auf Kosten Justinians wiederhergestellt, vgl. Procop. de ædif. II 7. Später wurde sie eine Moschee (Khalli Errahman).« Hallier S. 93. Wir sehen auch, wie nah sich das Gründungsdatum mit der Abfassungszeit der Eusebianischen Kirchengeschichte berührt.

635—324. Bau des Koimeterion von Edessa (nach H. an Stelle der alten christlichen Felsnekropole im Westen der Stadt — zu der die obige Ortsangabe von Hrn. von Oppenheim S. 817 verglichen werden mag).

636—325. Das Koimeterion und die Ostseite der Kirche gebaut.

639—326/28. Anbau der Kirche: s. 636.

Von 657—345/46. Die Kapelle der Bekenner erbaut (außerhalb der Stadt nach SW zu).

674—363 Juni. Kaiser Julian fällt im Perserkriege.

681—369/70. Bau des großen Baptisteriums.

372. Sokrates Kirchengeschichte IV 18 (Meister, Rh. Mus. LXIV, 1909, 345) bezeugt für Edessa in Mesopotamien Θωμᾶ τοῦ ἀποστόλου μαρτύριον λαμπρὸν καὶ περιφανές. Ich sehe nach dem, was Haller zum Jahre 624 gesagt hat, keine Möglichkeit, dieses Martyrion mit der großen Kirche gleichzusetzen, sondern nehme mit anderen eine besondere anderswo gelegene Märtyrerkapelle an. Eine solche verlangt auch meines Erachtens die Angabe der Chronik von 705 und die weiter unten zu erwähnende Pilgerreise der Ätheria.

684—373. Das Volk, von den Arianern verfolgt, räumt die Kirche von Edessa.

689—378. Die Orthodoxen nehmen von der Kirche wieder Besitz.

Nach (379). Erbauung der Danielkapelle.

705—394 22. August. Der Sarkophag (γλωσσοκόμον) des Apostels Mar[i] Thomas wird in seinen großen Tempel übertragen.

Die Überlieferungen, welche die Gebeine von auswärts, womöglich gar von Indien, überführt werden lassen, weist Hallier zurück. Das Zeugnis des Sokrates ergibt, daß es 372 eine Märtyrerkapelle gab, aus der der Sarkophag damals sehr wohl in die große Kirche überführt werden konnte. Über Ätheria s. u. S. 821 f.

Nach 720—409. Beginn des Baues der Barlahakapelle.

723—411/12. Erbauung der Stephanoskapelle, früheren Synagoge.

724—413. Die Mauern von Edessa zum dritten Male durch Wasser zerstört — d. i. durch den die Stadt durchfließenden Fluß Daizan (man mag sich dabei

des Ophis von Mantinea erinnern, durch dessen Stauung Hagesipolis die Stadt eroberte, und den man später, ähnlich wie den Daizan, verlegte).

429. Brief des comes Darius an Augustin, bei Dobschütz Christusbilder 173* f., 12 führt den Brief Jesu an Abgar schon mit dem Zusatz an: *iussit insuper eius urbem ab hostibus in perpetuum esse ac semper immunem.* Damit wird bezeugt, daß damals schon ein Zusatz geläufig war, den Eusebios noch nicht hat, der aber weiterhin eine steigende Bedeutung aufweist.

Nach 746—435. Bau der Apostelkirche.

749—437/38. Silberner Altartisch in der alten Kirche von Edessa aufgestellt.

753. Silberner Schrein (naos) zu Ehren der Gebeine des hl. Thomas angefertigt.

Nach 759—448, vielmehr 450. Erbauung des Allerheiligsten (Hierateion) in der Kirche.

Nach 769—457. Kapelle Johannis des Täufers, Spital außerhalb der Stadt mit einer Märtyrerkapelle für Kosmas und Damianus u. a. Bauten.

814—503 Sept. Der Perserkönig Kawadh belagert Edessa, verbrennt die Märtyrerkapelle des Sergios und die nördliche Basilika der Bekennerkapelle.

(511/12. Über die Märtyrerkapelle der hl. Euphemia s. Hallier 121.)

836—525. Vierte Überschwemmung (vgl. 724). Die Mauern durchbrochen, Wohnhäuser weggerissen.

Nach 838—527. Justinian stellt die Thomaskirche wieder her; s. o. zu 624.

An dieser Stelle halten wir inne, um von unserem Standpunkte aus einen Blick auf die anziehende Beschreibung einer Pilgerreise zu werfen, die uns eine nordspanische Äbtissin, Ätheria, hinterlassen hat. Nachdem Heräus (Heidelberg 1908) eine handliche Ausgabe geliefert, hat K. (C.) Meister in einer eindringenden Untersuchung De itinerario Aetheriae abbatissae, Rh. Mus. LXIV 1909, 337 die Zeit zwischen die Jahre 533—540 angesetzt, vor allem gestützt auf Beobachtungen über den christlichen Kultus in Jerusalem, auf dem Sinai usw. In seinem gründlichen philologischen Kommentar berücksichtigt E. Löfstedt (Upsala 1911) einige Einwände gegen Meisters Darlegungen, die dann unter anderen E. Weigand in der Byzantinischen Zeitschrift XX, 1911, 1 ff. weiterführt. Zur Frage auch H. Delehaye, Les origines du culte des martyrs 1912, 245. Ätheria reist von Jerusalem nach Edessa c. 17, 1 *nec non etiam et gratia orationis ad martyrium sancti Thomae apostoli, ubi corpus illius integrum positum est* .... In Edessa angekommen (c. 19, 2), *statim perreximus ad ecclesiam et ad martyrium sancti Thomae.* Dort liest sie auch *aliquanta ipsius sancti Thomae.* Dann kommt etwas Neues: *ecclesia autem, ibi que est, ingens et valde pulchra et nova dispositione, ut vere digna est esse domus Dei* .. Und da in der Stadt viel zu sehen war, blieb sie drei Tage, *ac sic ergo vidi in eadem civitatem martyria plurima.* Wer das unbefangen liest, findet hier 1. das Martyrium S. Thomae als Hauptanziehungspunkt; 2. die schöne Kirche, nova dispositione; 3. zahlreiche andere Martyria. Wie gut das alles zur Chronik von Edessa paßt, braucht man kaum zu sagen. Die Thomaskapelle, wie sie Sokrates pries, hatte natürlich ihren Hauptreiz verloren, als der Sarkophag in die große Kirche überführt war, zumal wenn er wirklich vorher in dem kleinen Martyrium stand. Man

versteht also, wie Gamurrini dazu kam, den Besuch der Ätheria vor 394, vor die Überführung zu setzen. Noch Dobschütz, Christusbilder 167* (1899) nimmt c. 388 an. Was die große Kirche nova dispositione angeht, so war sie freilich damals nicht mehr neu; aber auch nach der Überführung 394 war sie es nicht; wenigstens wird davon, wie mir Hr. Meister einwandte, nirgends etwas gesagt, wenn es auch Weigand S. 26 annimmt, der den Besuch der Ätheria bald nach 394 ansetzt. Hr. Meister denkt in Verbindung mit seinen sonstigen Erklärungen an die Erneuerung der Kirche durch Justinian und versteht einfach ecclesia recens constructa. Mag dem sein wie es wolle, mag man den Ausdruck pressen dürfen oder nicht, jedenfalls spricht das Thomasmartyrium mehr für das ausgehende 4. als das 6. Jahrhundert.

Aber noch eins ist wichtig. Ätheria sagt vom Apostel Thomas c. 17, 1: *apud Edessam, quem se illuc missurum posteaquam in caelis ascendisset, Deus noster Iesus testatus est per epistolam, quam ad Aggarum regem per Ananiam cursorem misit, quoque epistolam cum grandi reverentia apud Edessam civitatem, ubi est ipsud martyrium, custoditur.* Als sie dann in das *palatium Aggari regis* kam und dessen Marmorbild sah, erläuterte es der Bischof durch den Hinweis auf den Brief (c. 19, 6): *ecce rex Aggarus, qui antequam videret Dominum, credidit ei, quia esset vere filius Dei*, und erzählt eine wundertätige Wirkung aus einer Belagerung durch die Perser, bei der Abgar selbst am Tor gebetet habe: *Domine Iesu, tu promiseras nobis, ne aliquis hostium ingrederetur civitatem istam, et ecce nunc Persae impugnant nos.* Das wirkte dann. Und schließlich nahm Ätheria vom Bischof dankbar den Text der beiden Briefe mit, obwohl sie schon in ihrer Heimat Abschriften besaß; *nam vere amplius est, quod hic accepi.*

Man beachte vor allem: Die Briefe sind ein bekannter literarischer Text; die Edessenische Version ist reicher als die abendländische. Das, wodurch es reicher ist, ist das, worin es über Eusebius hinausgeht. Es stand darin, daß Jesus nach der Himmelfahrt den Thomas nach Edessa senden würde, und der versprochene Schutz der Stadt. Beides werden wir wiederfinden. Der Perserkrieg ist nach einem neueren Ereignisse ausgemalt, das man je nach dem in die Zeit Julians oder Kawadhs setzen wird.

Einen Grund, warum dies nicht schon um 388 entstanden und anerkannt gewesen sein könnte, vermag ich nicht abzusehen. Aber die Frage kann nur entschieden werden durch eine erschöpfende Analyse des ganzen kultlichen Apparats. Hier also betone ich mein non liquet.

Von neuem zeigte der Brief seine Wunderkraft, als Chosraw von Persien 544/45 die Stadt mit allen Mitteln zu erobern suchte, wobei ihn, wie man sagte, der Umstand reizte, daß Edessa den Christen als

uneinnehmbar galt, dank dem Besitze des Briefes. Prokopios, der nur zwei Jahre später schrieb, erzählt ausgiebig von Abgar und Jesus und erwähnt auch jenen Schluß, den schon Ätheria hatte, nicht ohne den kritischen Vermerk, daß die Historiker, die über jene Zeit geschrieben — also vor allem doch Eusebius — davon nichts erwähnten. Proc. de bellis II, 12, p. 208: φασὶ δὲ καὶ τοῦτο αὐτὸν ἐπειπεῖν, ὡς οὐδὲ ἡ πόλις ποτὲ βαρβάροις ἁλώσιμος ἔσται. τοῦτο τῆς ἐπιστολῆς τὸ ἀκροτελεύτιον οἱ μὲν ἐκείνου τοῦ χρόνου τὴν ἱστορίαν συγγράψαντες οὐδαμῆ ἔγνωσαν· οὐ γὰρ οὖν οὐδέ πη αὐτοῦ ἐπεμνήσθησαν· Ἐδεσσηνοὶ δὲ αὐτὸ ξὺν τῇ ἐπιστολῇ εὑρέσθαι φασίν, ὥστε ἀμέλει καὶ ἀνάγραπτον οὕτω τὴν ἐπιστολὴν ἀντ᾽ ἄλλου του φυλακτηρίου ἐν ταῖς τῆς πόλεως πεποίηνται πύλαις.

Schon wenige Jahre später kam eine andere Wendung auf, die das Wunder der Rettung durch ein Bild Jesu geschehen ließ, zuerst in den Thaddaiosakten, um 550 entstanden (v. Dobschütz, Zeitschr. 448). Infolgedessen mußte der Brief in seiner Bedeutung zurücktreten. Aber stärker noch wirkte die Einnahme von Edessa durch die Perser im Jahre 608, die den Zauber der Unbezwinglichkeit brach. Und wenn auch Kaiser Heraklius die Feste auf kurze Zeit zurückeroberte, so machte doch schon 639 die arabische Eroberung der griechisch-christlichen Kultur ein Ende (E. Meyer, Realenc. V, 1938). Erst das 11. Jahrhundert brachte unter Byzantinern und Kreuzfahrern einen letzten Nachglanz, der freilich auch für unsere Fragen nicht ohne Folge geblieben ist.

Für den Text der Briefe, wie er im 6. Jahrhundert zu Edessa gegolten hat, waren wir auf unsichere Rückschlüsse aus nichtedessenischen Exemplaren hingewiesen, über die v. Dobschütz, Zeitschr. 422 ff., in eingehendster Weise unterrichtet. Dazu gehört die Türaufschrift von Ephesos, die Heberdey in den Österr. Jahresheften, Beiblatt III, 1900, 91, herausgegeben hat; Kenntnis einer neuen Bearbeitung in dem von der Académie des inscriptions vorbereiteten Recueil der christlichen Inschriften Kleinasiens verdanke ich der Liebenswürdigkeit des Herausgebers, Hrn. Grégoire (Nr. 109), der mit Recht auf den von Eusebios abweichenden, aber zu Ätheria, Prokop und der sonstigen späteren Überlieferung passenden Schluß hinweist: ωσιν (verb. ὥστε) καὶ τῇ πόλι τῇ σῇ μηδένα τῶν ἐχθρῶν τῶν σῶν ἐξου[σί]αν ταύτης ἔχιν ἢ σχῖν ποτε. Aber der ausgesandte Jünger wird nicht genannt, und von Edessa ist nicht die Rede.

Ebenso steht in der Steinschrift aus dem Pontus bei Anderson, Journ. Hell. Stud. XX, 1900, 156 = Studia Pontica III, 1910, Nr. 210, vgl. das Bruchstück Nr. 226, nichts Edessenisches; der Schluß ähnelt dem vorigen: καὶ τῇ πόλι σου πρὸς τῷ (= τὸ) μηδένα τῶν ἐ[χ]θ[ρ]ῶν σου κατακυριεῦσαι αὐτῆς. ἀμήν.

+ΜΑΚΑΡΙΟCΕΙΑΥΓΑΡΕΚΑΙΗ ΠΟΛΗCCΟΥΗΤΙCΚΑΛΕΙΤΑΙΕΔ
ΕCΑΜΑΚΑΡΙΟCΕΙΟΤΙΕΠΙCΤΕΥCΑC ΕΙCΕΜΕΜΗΕΩΡΑΚΩCΜΕΟΤΙΥΓΕΙ
ΑΕΤΟΙΜΑCΘΙCΕΤΑΙCΟΙΔΙΑΠΑΝΤΟC ΠΕΡΔΕΟΥΕΓΡΑΨΑCΜΟΙΤΟΥΕΛΘΕΙΝ
ΠΡΟCCΕΔΕΟΝΕCΤΙΔΙΟΑΠΕCΤΑΛΗΝ ΕΝΤΑΥΘΑΠΛΗΡΩCΑΙΚΑΙΜΕΤΑΤΟ
ΠΛΗΡΩCΑΙΑΝΑΛΗΦΘΗΝΑΙΜΕ ΠΡΟCΤΟΝΑΠΟCΤΕΙΛΑΝΤΑΜΕΓΡΑ
ΑΠΟCΤΕΛΛΩΔΕCΟΙΕΝΑΤΩΝΜΑ ΘΗΤΩΝΜΟΥΟΝΟΜΑΤΙΘΑΔΔΑΙ
ΟΝΤΟΝΚΑΙΘΩΜΑΝΟCΤΙCΚΑΙΤΟ ΠΑΘΟCCΟΥΘΕΡΑΠΕΥCΕΙΚΑΙΖΩ
ΗΝΑΙΩΝΙΟΝΚΑΙΕΙΡΗΝΗΝCΟΙΠΑ ΡΑCΧΟΙΚΑΙΤΟΙCCΥΝCΟΙΠΑCΙΚΑΙ
ΤΗΠΟΛΕΙCΟΥΠΟΙΗCΕΙΤΟΙΚΑΝΟΥ ΠΡΟCΤΟΜΗΔΕΝΑΤΩΝΕΧΘΡΩΝΚΑ
ΤΙCΧΥCΑΙΑΥΤΗCΕΟCΤΙCCΥΝΤΕΛΕΙ ΑCΤΟΥΚΟCΜΟΥΑΜΗΝ+ +ΕΠΙCΤΟΛΙΤΟΥ
ΚΥΗΜΩΝΙΥΧΥ+

0 10 20 30 40 50cm

Inschrift von Edessa.

Als besonders charakteristischer Fall sei noch angeführt, daß eine armenische Bearbeitung der Doctrina Addai, um 500, den Schauplatz ganz bewußt nach Armenien verlegt (Dobschütz, Christusbilder 174*, 14). Was lag ihr an Edessa!

Erst als Edessa von den byzantinischen Kaisern zurückerobert war, und im Jahre 944 das heilige Bild nach Konstantinopel überführt war, entstand die Fassung der griechischen Menäen (Dobschütz, Zeitschr. 434, 461), in denen wieder Thaddaios der Abgesandte ist, und der Schluß lautet: ΚΑῚ ΠΟΙΉϹΕΙ Τῌ ΠΌΛΕΙ ϹΟΥ ΤῸ ἹΚΑΝῸΝ ΠΡῸϹ ΤῸ ΜΗΔΈΝΑ ΤΩ͂Ν ἘΧΘΡΩ͂Ν ΚΑΤΙϹΧΥ͂ϹΑΙ ΑΥ̓ΤΗ͂Ϲ. Zuletzt legt Jesus dem Briefe sieben Siegel an.

Endlich wurde im Jahre 1032 der Brief noch einmal von Edessa nach Konstantinopel überführt, und auf Befehl des Kaisers Romanos Argyropulos übersetzt, so v. Dobschütz, Zeitschr. 463f., 436ff.; besonders 440ff. Die Besonderheiten dieses zuerst von Lipsius behandelten, aus sehr verschiedenen handschriftlichen Quellen hergestellten Textes werden uns noch beschäftigen.

Denn all dieser, zum Teil weit abgeleiteten Überlieferung gegenüber ist es eine Wohltat, einen wie auch immer gestalteten Text unmittelbar aus der Stadt Abgars selbst zu erhalten. Wir geben auf S. 824 das Bild der Felsinschrift nach der Zeichnung von Hrn. Max Lübke, der hier, wie so oft, nicht als mechanischer Kopist, sondern auch als Entzifferer tätig gewesen ist, obwohl man hätte meinen sollen, daß die großen, tiefen Buchstaben auf dem recht sorgfältig und geschickt angefertigten Abklatsche keinen Zweifel hätten lassen können.

+ ΜΑΚΆΡΙΟϹ ΕἾ ΑΥ̓ΓΑΡΕ ΚΑῚ Ἡ ΠΌΛΗϹ ϹΟΥ ἫΤΙϹ ΚΑΛΕῖΤΑΙ Ἔ Δ-
ΕϹΑ· ΜΑΚΆΡΙΟϹ ΕἾ ὍΤΙ ἘΠΊϹΤΕΥϹΑϹ ΕἸϹ ἘΜῈ ΜῊ ἙΩΡΑΚῺϹ ΜΕ, ὍΤΙ ὙΓΕΙ-
Α ἙΤΟΙΜΑϹΘΊϹΕΤΑΙ ϹΟΙ ΔΙᾺ ΠΑΝΤΌϹ. ΠΕΡῚ ΔΈ ΟΥ̓ ἜΓΡΑΥΆϹ ΜΟΙ ΤΟΥ͂ ἘΛΘΕῖΝ
ΠΡῸϹ ϹῈ ΔΈΟΝ ἘϹΤῚ ΔΙ' Ὃ ἈΠΕϹΤΆΛΗΝ ἘΝΤΑΥ͂ΘΑ ΠΛΗΡΩ͂ϹΑΙ ΚΑῚ ΜΕΤᾺ ΤῸ
5 ΠΛΗΡΩ͂ϹΑΙ ἈΝΑΛΗΦΘΗ͂ΝΑΙ ΜΕ ΠΡῸϹ ΤῸΝ ἈΠΟϹΤΕΊΛΑΝΤΆ ΜΕ Π(ΑΤΈ)ΡΑ.
ἈΠΟϹΤΈΛΛΩ ΔΈ ϹΟΙ ἛΝΑ ΤΩ͂Ν ΜΑΘΗΤΩ͂Ν ΜΟΥ ὈΝΌΜΑΤΙ ΘΑΔΔΑΪ-
ΟΝ ΤῸΝ ΚΑῚ ΘΩΜΑ͂Ν, ὍϹΤΙϹ ΚΑῚ ΤῸ ΠΆΘΟϹ ϹΟΥ ΘΕΡΑΠΕΎϹΕΙ ΚΑῚ ΖΩ-
ῊΝ ΑἸΏΝΙΟΝ ΚΑῚ ΕἸΡΉΝΗΝ ϹΟΙ ΠΑΡΆϹΧΟΙ ΚΑῚ ΤΟΙ͂Ϲ ϹῪΝ ϹΟῚ ΠΑ͂ϹΙ ΚΑῚ
Τῌ ΠΌΛΕΙ ϹΟΥ ΠΟΙΉϹΕΙ ΤῸ ἹΚΑΝΌΝ, ΠΡῸϹ ΤῸ ΜΗΔΈΝΑ ΤΩ͂Ν ἘΧΘΡΌΝ ΚΑ-
10 ΤΙϹΧΥ͂ϹΑΙ ΑΥ̓ΤΙ͂Ν ἝΟϹ ΤΙ͂Ϲ ϹΥΝΤΕΛΕΊΑϹ ΤΟΥ͂ ΚΌϹΜΟΥ. ἈΜΉΝ. + + ἘΠΙϹΤΟΛῚ ΤΟΥ͂
Κ(ΥΡΊΟ)Υ ἩΜΩ͂Ν Ἰ(ΗϹΟ)Υ͂ Χ(ΡΙϹΤΟ)Υ͂. +

Wir sehen hier von Äußerlichkeiten der Schrift[1], Ligaturen, Abkürzungen und Fehlern gegen die Orthographie ab, auch von kleineren

[1] Gerade weil die zeitliche Bestimmung des Schriftcharakters in der ganzen griechischen Epigraphik, und zumal in dieser späten Zeit so unsicher ist, teile ich hier einen Einwand von U. von Wilamowitz mit: »ich kann aber nur den Eindruck

Varianten, und betonen nur das Wesentliche. Ein jeder wird, zumal wenn ihm das Studium der reichen Dobschützschen Kommentare die Augen geschärft hat, erkennen, daß es sich um eine Erweiterung und Umarbeitung der Eusebianischen Originalübersetzung handelt — wobei ich, aus Unkenntnis und allerdings auch mit einem leisen Zweifel, ob dort noch in jener Zeit eine stärkere schriftstellerische Produktionskraft fortwirkte, auf die von Dobschütz mitherangezogenen syrischen Versionen verzichte. Gegenüber Eusebios neu ist gleich die erste Zeile mit der Nennung der Stadt Edessa, die am Schlusse in einer Form wiederkehrt, wie sie dem Versprechen Jesu bei der Ätheria, dem Akroteleution Prokops entspricht. Ferner die Wiederholung der Seligpreisung — dies vielleicht orientalisch — in wirkungsvoller, an die Bergpredigt erinnernder Anaphora. Dann vor allem, daß aus dem im Briefe bei Eusebios ungenannten Jünger, der erst in der folgenden Erzählung Thaddaios heißt, ein Thaddaios, auch Thomas genannt, geworden ist. Und noch mehr. Anderseits ist es deutlich, daß die Eusebianische Stilisierung nicht unberücksichtigt geblieben ist, wie sich das bei einem so berühmten Schriftsteller von selbst verstand: das zeigt schon die Wendung: δέον ἐστὶ (∼ ἔσται) . . . πληρῶσαι καὶ μετὰ τὸ πληρῶσαι usw. Aber eine bewußte Umarbeitung liegt vor, und zwar mit einer sehr deutlichen Absicht.

Sehr bemerkenswert sind auch die Übereinstimmungen mit den späten byzantinischen Bearbeitungen.

Aus den Menäen (𝔄) hebe ich hervor die Zufügung von πατέρα hinter πρὸς τὸν ἀποστείλαντά με und den Schluß: ὅστις καὶ τὸ πάθος σου θεραπεύσει καὶ ζωὴν αἰώνιον καὶ εἰρήνην σοὶ καὶ τοῖς σὺν σοὶ παράσχοι καὶ ποιήσει τῇ πόλει σου τὸ ἱκανὸν πρὸς τὸ μηθένα τῶν ἐχθρῶν κατισχῦσαι αὐτῆς. Als Abweichung sei betont, daß der Bote nur Thaddaios genannt wird.

In der Übersetzung von 1032 (𝔈) steht auch ἡ πόλις σου ἥτις καλεῖται Ἔδεσσα, auch ἀποστείλαντά με πατέρα, auch, ganz ähnlich, καὶ ζωὴν αἰώνιόν σοι παράσχῃ καὶ τοῖς σὺν σοὶ πᾶσιν καὶ τῇ πόλει σου ποιήσει τὸ ἱκανὸν πρὸς τὸ μηδένα τῶν ἐχθρῶν κατισχῦσαι αὐτῆς, und dann auch

---

wiedergeben, daß ich die Schrift dem 4. Jahrhundert noch nicht zutrauen kann, auch die Orthographie nicht.« — Für das seltsame ∋ = z liegt es am nächsten, auf die »aus der Majuskelform kursiv entwickelte Minuskel« ʒ zu verweisen, unserm »deutschen« ʒ entsprechend (Blass in I. von Muellers Handb. I[2] 321 und Tafel dazu; bis Gardthausen, Griech. Paläogr. II[2], Tafel 2, unter dem J. 680 ʒ; doch zeigen geschweifte Formen der »Papyrus-Unziale«, Tafel 1, schon der ersten drei Jahrhunderte n. Chr. die Ansätze dazu; unsre Inschrift ist also eine Zurückstilisierung von der Kursive in die gesuchte Monumentalschrift. Noch fehlen alle Lesezeichen und die späteren byzantinischen Schnörkeleien. — Zahlreiche, vielfach recht monumentale Schriftproben aus Syrien bis zur muhammedanischen Eroberung geben die Greek and latin inscriptions der Princeton University.

noch, was in den Menäen fehlt, ἕως τῆς συντελείας τοῦ κόσμου. Besonders merkwürdig ist, daß dem Namen des Jüngers Thaddaios in zwei Handschriften τὸν καὶ Λεββαῖον, in einer andern, der Naniana, jetzt Marciana, τὸν καὶ Θωμᾶν zugefügt ist. Freilich kommt dazwischen reiches Geranke und am Schlusse nach einer sehr merkwürdigen Nutzanwendung (s. u.) ein ausgeführtes Verzeichnis der sieben Siegel.

Hieraus dürfte sich folgender Sachverhalt als wahrscheinlich ergeben: nach der Persernot in der zweiten Hälfte des 4. Jahrhunderts ist in Edessa im Anschluß an die Eusebianische Übersetzung und Stilisierung des syrischen Urtextes, aber mit starker Betonung des Lokals und seiner Interessen, eine Neubearbeitung erfolgt. Der comes Darius, Ätheria und Prokopios, die späten Menäen und die sogenannte Übersetzung von 1032 benutzen diese Umarbeitung, daneben natürlich auch die direkt von Eusebios abhängige Überlieferung, jeder in seiner Weise und zum Teil mit besonderer, auch in den verschiedenen handschriftlichen Brechungen abweichender Kritik, und fügen mit dem Schein der Berechtigung ihre neuen Wendungen und Gedanken ein.

Uns aber kommt es nicht mehr auf die späteren Ausläufer, sondern auf das Exemplar von Edessa an. Hier muß man zweierlei scheiden: den literarischen Text, den ein Lokalgelehrter bearbeitet hat, und die Ausfertigungen desselben am Stadttor von Edessa und in der Grotte. Man muß mit der Möglichkeit rechnen, daß die Grotteninschrift nur eine verkürzte und ungenaue Wiedergabe des literarischen und des im Archiv von Edessa — damals jedenfalls schon dem Kirchenarchiv — niedergelegten, vom Bischof der Ätheria gegebenen, war. Freilich wird diese Möglichkeit nicht allzuweit ausgedehnt werden dürfen, da es für die Stadt ein heiliger, segensreicher Text war, an dem nur unter ganz besonderen Umständen gerüttelt werden durfte.

Doch nun das Wichtigste — Θαδδαῖον τὸν καὶ Θωμᾶν. Eusebios nannte in der Erzählung Thaddaios. Als aber die Edessener im Besitz ihres stattlichen Thomasmartyrions und noch mehr der großen Basilika waren, da war es klar, daß schon Jesus in seinem Brief den Thomas selbst als den zu Abgar gesandten Boten bezeichnet haben mußte. Trotzdem war es heikel, ganz mit Eusebios zu brechen. So entstand dieses merkwürdige Kompromiß: aus Judas, der auch Thomas hieß, plus Thaddaios wurde ein Thaddaios, der auch Thomas hieß! Ein ebenso bedenkliches wie lehrreiches Beispiel konziliatorischer Kritik! Aber lange hielt sich das nicht; nachdem die Thaddaiosakten in Edessa (um 550) Geltung gewonnen hatten, mußte erst recht die Version des großen Eusebios siegen — nur die Naniana bewahrte noch die alte Variante.

Über die Bedeutung der Grotte mit der Inschrift wird erst die von Hrn. von Oppenheim geplante genauere Erforschung des Ortes Auskunft geben. Hoffentlich werden in der modernen Türkei nicht mehr die Hindernisse entgegenstehen, die Sachau (Reisen in Mesopotamien und Syrien 1883, 197) vorfand, nach dem die Heiligkeit des Ortes so groß war, daß ein Giaur sich damit begnügen mußte, am Teich auf und ab zu gehen und die Fische zu füttern. Der Ort der Höhle dürfte eher dafür sprechen, daß es sich um ein ziemlich altes Felsengrab als um das Martyrion des Apostels selbst handelte; dieses mag ja auch, wie die alte Metropolis in Athen neben der neuen, nicht weit von der großen Basilika in der Stadt selbst gelegen haben. Auch für ein Grabmal, allerdings dann ein sehr angesehenes und reiches, würde die apotropäische Wirkung passen, die schon in jenem Akroteleution ausgesprochen war und in den späteren Fassungen[1] immer stärker hervortritt; eine Wirkung, die den Brief noch im 19. Jahrhundert, wie mir Hr. Weinreich erzählte, dem Volke in England als Talisman empfahl. In dieser Hinsicht hat schon R. Knopf, Ath. Mitt. XXV, 1900, 319 f. den Brief mit dem auf Ton geritzten Vaterunser von Megara und der Bleirolle mit dem 80. Psalm aus Rhodos (im neuen Recueil von Grégoire Nr. 128) zusammengestellt; jener Bleirolle, die jetzt im Berliner Antiquarium ist und deren erste Herausgabe durch den Schreiber dieser Zeilen dank der gütigen Vermittlung von Hrn. Harnack Aufnahme in diese Sitzungsberichte (1898) gefunden hat. Wie dem alten Funde, so wird es auch dem neuen an berufenen Exegeten nicht ermangeln; möge auch die Agathe Tyche dem Forscher, der in der Chronik und dem Büchlein der Ätheria zwei Führer mitbringt, wie sie Pausanias nicht für jede griechische Stadt dem Archäologen bietet, bei der neuen Arbeit gewogen sein!

[1] 𝔈 = Epistola Abgari (Dobschütz, Zeitschr. 442) ΑΫΤΗ ΔΈ ΜΟΥ ἘΠΙϹΤΟΛΗ ὍΠΟΥ ἘᾺΝ ΠΡΟΒΛΗΘῌ ΕἼΤΕ ἘΝ ὉΔῼ ΕἼΤΕ ἘΝ ΘΑΛΆϹϹῌ ΕἼΤΕ ἘΝ ΔΙΚΑϹΤΗΡΊῼ ΕἼΤΕ ἘΝ ῬΙΓΩ͂ϹΙΝ Ἢ ἘΝ ΠΥΡΈϹϹΟΥϹΙΝ Ἢ ΦΡΙΚΙΩ͂ϹΙΝ Ἢ ἘΚΒΡΆΖΟΥϹΙΝ Ἢ ΚΑΤΆΔΕϹΜΟΝ ἜΧΟΥϹΙΝ Ἢ ὙΠΈΡΒΡΑϹΙΝ Ἢ ΦΑΡΜΑΚΕΥΘΕΙ͂ϹΙΝ Ἢ ὍϹΑ ΤΟΎΤΟΙϹ ὍΜΟΙΑ, ΔΙΑΛΥΘΉϹΟΝΤΑΙ ἈΠ᾽ ΑΥ̓ΤΩ͂Ν· ἜϹΤΩ ΔῈ Ὁ ΦΟΡΩ͂Ν ΑΥ̓ΤῊΝ ἉΓΝῸϹ ἈΠΕΧΌΜΕΝΟϹ ἈΠῸ ΠΑΝΤῸϹ ΠΟΝΗΡΟΥ͂ ΠΡΆΓΜΑΤΟϹ ΚΑῚ ΛΕΓΈΤΩ ΑΥ̓ΤῊΝ ΕἸϹ ἼΑϹΙΝ ΕἾΝΑΙ ΚΑῚ ΧΑΡᾺΝ ΒΕΒΑΊΑΝ.

Adresse an Hrn. August Leskien zum fünfzigjährigen Doktorjubiläum am 14. Juli 1914.

Hochgeehrter Herr Kollege!

Die fünf Jahrzehnte fruchtbringender Arbeit, auf die Sie heute unter der glückwünschenden Teilnahme Ihrer Schüler und Ihrer Fachgenossen zurückschauen können, umschließen für die indogermanische Sprachwissenschaft eine Periode grundlegender Neugestaltung. Es bleibt Ihr unvergessenes Verdienst, an ihrer Durchsetzung in vorderster Reihe mitgewirkt zu haben.

Ihre Darstellung der »Deklination im Slavisch-Litauischen und Germanischen« hat die Einsicht wirksam verbreiten helfen, daß auch der Sprachvergleicher die grammatischen Formen der Einzelsprache nur aus lebendiger Kenntnis ihrer Überlieferung und des besonderen Milieus, in dem sie ihre Prägung empfangen haben, recht beurteilen und geschichtlich verstehen lernt. Für die von Ihnen früh als dringendes Erfordernis der Sprachwissenschaft erkannte vergleichende Bearbeitung der litauisch-slavischen Akzentgesetze haben Sie selbst, besonders in den schönen »Untersuchungen über Quantität und Betonung in den slavischen Sprachen«, die wertvollsten Bausteine geliefert; Sie haben auch durch Ihre glückliche Entdeckung der litauischen Auslautsregel dem Indogermanisten ein neues Mittel zur Rekonstruktion verschollener Sprachzustände in die Hand gegeben, dessen Wirkung weit über die Grenzen der slavisch-litauischen Sprachengruppe und zugleich über die Anfänge aller historischen Überlieferung hinausreicht. Ihre aus den Quellen geschöpfte Darstellung der litauischen Nominalbildung bescherte der Linguistik in einem nachahmenswürdigen Beispiel, was sie überall so notwendig braucht und doch so selten geschenkt erhält: die volle Überschau des Tatbestandes, die für alle Weiterarbeit deutender Sprachforschung das unerläßliche Fundament bildet.

In der slavischen Philologie, der Sie als Forscher und Lehrer, vielseitig interessiert, Ihre beste Kraft gewidmet haben, vertrat Ihr Name und Ihr Wirken jahrzehntelang beinahe allein den Anteil der deutschen Wissenschaft, und allen Lernenden ebnet noch heute Ihr überall gebrauchtes, oft aufgelegtes »Handbuch der altbulgarischen

Sprache« den ersten Zugang in das älteste Sprach- und Schrifttum der Slaven.

Den stillen, aber nachhaltigen Einfluß, den Sie als Lehrer und wissenschaftlicher Berater auf Studenten und werdende Gelehrte ausgeübt haben, kann der Fernerstehende wohl ahnen, schwerlich aber nach Umfang und Tiefe gebührend ermessen. Möge ein glückgesegneter Lebensabend Ihren Schülern noch lange diesen Einfluß erhalten und zugleich noch vieles von dem zur Vollendung gedeihen lassen, was Sie in einem arbeitsreichen Leben begonnen und vorbereitet haben!

Die Königlich Preußische Akademie der Wissenschaften.

Epigraphische Beiträge.

Von Heinrich Lüders.

(Vorgelegt am 2. April 1914 [s. oben S. 413].)

IV. Zu den Felsen- und Säulenedikten des Aśoka.

In dem zweiten Felsenedikt hat Senart, wie seine Vorgänger, die Worte *ā Taṃbapaṃṇī* in G als »bis nach Tāmraparṇī« gefaßt. Das wird anscheinend auch durch die Parallelstelle in F XIII nahegelegt, wo K *Coḍa Paṃḍiyā avaṃ Taṃbapaṃniyā*, Sh *Coḍa Paṃḍa ava Taṃbapaṃniya*, M *Coḍa Paṃḍiya a Taṃbapaṃniya* liest[1]. Allein es fragt sich doch, ob die Ausdrucksweise an den beiden Stellen wirklich genau die gleiche ist. Sicher ist es zunächst, daß in F II in K Sh M das *ā* fehlt; in Dh sind die Worte gar nicht erhalten, in J ist nur das *ī* von *Taṃbapaṃnī* sichtbar. In K Sh M ist die Konstruktion also jedenfalls in F II eine andere als in F XIII: *Taṃbapaṃni* (K Sh), *-bapaṇi* (M) ist im Nominativ in die Liste der Grenzländer eingefügt. Schon das macht es wahrscheinlich, daß auch in G *Taṃbapaṃṇī* Nominativ ist. Aber auch grammatisch scheint mir die Annahme eines Ablativs auf *-ī* sehr bedenklich. Trenckner, Milindapañho, S. 421, führt allerdings aus dem Pali einen Ablativ *pesī* an, aber die Form steht in einem Verse, und in Girnār sollten wir jedenfalls nach Analogie des Instrumentals *dhaṃmānusasṭiyā* in IV, *-bhatiyā* in XII und des Dativs *dhaṃmānusasṭiya* in III eher *Taṃbapaṃṇiyā* erwarten. Endlich heißt »bis« in G sonst überall *āva*; siehe *āva saṃvaṭakapā* in IV, V; *āva tasa athasa nisṭānāya* IX; *āva paṭivesiyehi* in XI. Diese Gründe bestimmen mich, in *ā Taṃbapaṃṇī* das Äquivalent von Sk. *yā Tāmraparṇī* zu sehen; *ā* ist Ardhamagadhismus, der vom Übersetzer aus der Vorlage übernommen ist, wie die eben genannten *āva* = Sk. *yāvat*[2]. Ich bin überzeugt, daß auch die seltsame Inkongruenz der Kasus in dem vorausgehenden Teile des Satzes (*evamapi pracaṃtesu yathā Coḍā Pāḍā* usw.) auf fehlerhafter Übertragung beruht. Offenbar stand in dem Originale wie in Dh und J[3]: *savata vijitasi devānaṃ piyasa Piyadasine lājine e vā pi aṃtā*

[1] In G fehlt die Stelle.
[2] In *yāvatako* in XIII (K *āvatake*) braucht er dagegen die richtige Dialektform.
[3] Die in Dh und J fehlenden Worte sind eingeklammert.

athā Coḷā Paṃḍiyā Satiyaputo [Kelalaputo ā Taṃbapaṃṇ]ī Antiyoke nāma Yonalājā e vā pi tasa Aṃtiyokasa sāmaṃtā lājāne savata. Der Übersetzer nahm *e vā pi* irrtümlich für *evam api* und übertrug daher *aṃtā* in *pracaṃtesu*, dann aber gab er für den Rest des Satzes die folgerichtige Umsetzung der Nominative in die Lokative auf. Ich habe schon oben, 1913, S. 1016 f., bemerkt, daß wir auch an andern Stellen in G mit solchen Unvollkommenheiten der Übersetzung rechnen müssen.

Die letzten Worte des dritten Felsenediktes haben weit auseinandergehende Deutungen erfahren. Der Schlußsatz der *dharmānuśāsti, apavyayatā apabhāṃḍatā sādhu* in G, scheint mir allerdings durch Thomas (Ind. Ant. Bd. 37, S. 20f.) seine endgültige Erklärung gefunden zu haben. Seine Auffassung des *apavyayatā* und *apabhāṃḍatā* als Vertreter von Sk. *alpavyayatā* und *alpabhāṇḍatā* und seine Übersetzung »moderation in expenditure« und »moderation in possessions« scheinen mir so einleuchtend, daß ich kein Bedenken trage, das widerstrebende *apaviyati* von Dh als einen Schreibfehler für *apaviyatā* zu betrachten. Nach der Phototypie ist es sogar nicht ausgeschlossen, daß das angebliche *i*-Zeichen nur durch einen zufälligen Riß im Stein aus dem *ā*-Zeichen entstanden ist. Dagegen vermag ich Thomas in der Deutung des letzten Satzes nicht ganz zu folgen. Er lautet: Dh *palisāpi ca . . . . nasi yutāni ānapayisati . . tute ca viyaṃja . . . . . .*; J . . *hetute ca viyaṃjanate ca*; K *palisā pi ca yutāni gananasi anapayisaṃti hetuvatā cā viyaṃjanate ca*; G *parisā pi yute ānapayisati gaṇanāyaṃ hetuto ca vyaṃjanato ca*; Sh *pari[ṣa°] pi yutani gaṇanasi aṇapeśaṃti hetuto ca vañanato ca*; M *pariṣa pi ca yutani gaṇanasi aṇapayiśati hetute ca viya . . nate ca.*

Hier hängt alles von der Interpretation der drei Wörter *pariṣad*, *yukta* und *gaṇana* oder *gaṇanā* ab. Das erste Wort wurde von Lassen, Burnouf und Senart (Inscr. I, S. 84, 157 f.) als Synonym von *saṃgha* betrachtet. Das ist offenbar auch Thomas' Ansicht, da er zu *pariṣads* die Erklärung hinzufügt: »i. e., as M. Senart has explained, the [local] *saṃghas*«. Bühler, Beitr. S. 22, lehnt diese Einschränkung auf die buddhistischen Mönche ab und will darunter die Asketen und Lehrer aller Sekten verstehen. An der zweiten Stelle, wo *pariṣad* vorkommt, in F VI, bezieht Senart das Wort konsequent ebenfalls auf den buddhistischen Orden. Nach Bühler, a. a. O. S. 48, sind hier die Versammlungen oder Ausschüsse gemeint, welche die Angelegenheiten der Dörfer sowie der Kasten und Gilden, der *jātis*, *śreṇīs*, *pūgas* und *nigamas* usw. besorgen, und die heute, weil sie gewöhnlich aus fünf Mitgliedern bestehen, als Pañch bezeichnet werden. Bühler hat dann später (a. a. O. S. 287, 291 f.) noch einige Stellen beigebracht, die beweisen, daß *parisā* im Pali genau so wie *pariṣad* im Sk. zur Bezeichnung jeder Art von Kollegium oder Versammlung verwendet wird. Da-

gegen hat sich V. A. Smith (Asoka[2], S. 158) Thomas angeschlossen und versucht, die technische Bedeutung von *pariṣad* mit Hilfe von zwei Stellen bei I-tsing näher zu bestimmen. I-tsing spricht Kap. 14 (Record of the Buddhist Religion, transl. by Takakusu, S. 86) von den fünf *pariṣads* des buddhistischen Ordens, worunter die *bhikṣus*, *bhikṣuṇīs*, *śikṣamāṇas*, *śrāmaṇeras* und *śrāmaṇerīs* zu verstehen sind; Takakusu bemerkt, daß bisweilen der Liste noch die *upāsakas* und *upāsikās* hinzugefügt werden, so daß sich sieben *pariṣads* ergeben. In diesem Sinne spricht I-tsing von den »sieben Versammlungen« in Kap. 19 (a. a. O. S. 96)[1]. Den Ausdruck *catasso parisā* oder *catuparisaṃ* führt Childers auch aus dem Pali an; er bezeichnet nach der Abhidhānappadīpikā 415 die *bhikkhus*, *bhikkhunīs*, *upāsakas* und *upāsikās*. Da *pariṣad* in den Edikten nicht in dem allgemeinen Sinne von Versammlung genommen werden kann, sondern eine bestimmte Körperschaft bezeichnen muß, so hat dieser Nachweis Smiths auf den ersten Blick etwas Bestechendes; bei näherer Prüfung ergibt sich, daß seine Auffassung unmöglich ist. Wie soll der König dazu kommen, in F III eine spezielle Bestimmung für den buddhistischen Orden zu geben, während sich sonst kein einziges der Felsenedikte — und wir können hinzufügen, der Säulenedikte — an den buddhistischen Saṃgha wendet oder sich mit buddhistischen Einrichtungen befaßt? Und wie paßt jene Bestimmung für die buddhistischen *pariṣads*? Nach Thomas' Ansicht, die Smith sich zu eigen macht, besagt die Stelle, daß die *pariṣads* Beamte für die Rechnungsführung über Ausgaben und Vorräte anstellen sollen[2]. Nun ließe sich ja allenfalls denken, daß den Mönchen und Nonnen eine solche Verpflichtung auferlegt worden wäre; wird aber wirklich jemand glauben, daß den weiblichen Prüflingen und den männlichen und weiblichen Novizen eine gesonderte Buchführung vorgeschrieben sei? Und daß die Laienbrüder und Laienschwestern hier überhaupt nicht in Frage kommen können, hat Smith schon selbst bemerkt. Man sieht, daß die buddhistischen *pariṣads* hier durchaus nicht am Platze sind. Und ebensowenig kann meines Erachtens in F VI von ihnen die Rede sein. Dort bestimmt der König, daß ihm unverzüglich Vortrag gehalten werden solle, wenn über eine seiner Bekanntmachungen oder Schenkungen in einer *pariṣad* eine Meinungsverschiedenheit ausbreche oder ein Antrag auf nochmalige Erwägung gestellt werde. Die Edikte betonen wieder und wieder, daß der König allen Sekten,

---

[1] Diese sieben Klassen werden, wie Takakusu bemerkt, schon Mahāvagga 3, 5, 4 aufgezählt; der Ausdruck *parisā* wird hier aber nicht gebraucht. Pātim. Saṃghād. 12 steht aber *bhagavato parisā* im Sinne von *saṃgha*.

[2] Ich halte diese Ansicht allerdings für völlig verfehlt; die buddhistischen *pariṣads* können aber auch mit der Bestimmung, wie ich sie auffasse, nichts zu tun haben.

Asketen wie Haushältern, Buddhisten, Brahmanen, Ājivikas und Nirgranthas seine Aufmerksamkeit und seine Fürsorge zuwende, und die Inschriften von Barābar zeigen, daß das kein leeres Gerede ist. Wie sollte er hier mit einem Male von speziellen Erlassen und Schenkungen an den buddhistischen Orden sprechen? Und selbst wenn das der Fall sein sollte, was haben die *pariṣads* damit zu tun? Auch hier wieder könnten von den vier, fünf oder sieben Gruppen doch höchstens die *bhikṣus* und *bhikṣuṇīs* in Frage kommen; ich wüßte jedenfalls nicht, daß jemals Schenkungen an Novizen oder Laien gemacht wären.

Ich kann nach alledem der Auffassung von Smith nicht zustimmen und halte die Ansicht Bühlers für die allein richtige. Tatsächlich kommt auch in der brahmanischen Literatur *pariṣad* als technischer Ausdruck in einer Bedeutung vor, die der von Bühler angenommenen sehr nahe steht und sich zum Teil sogar mit ihr deckt. Die Dharmaśāstras schreiben vor, daß in streitigen oder von dem Lehrbuch nicht vorgesehenen Fällen die Entscheidung bei einer Körperschaft liegen solle, die aus mindestens zehn oder in späterer Zeit aus mindestens drei Mitgliedern bestehen solle und die den Namen *pariṣad* trägt. Baudhāyana 1, 1, 1, 7. 8[1]: *tadabhāve daśāvarā pariṣat* ‖ *atrāpy udāharanti* |

> *cāturvaidyaṃ vikalpī ca aṅgavid dharmapāṭhakaḥ* |
> *āśramasthās trayo viprāḥ parṣad eṣā daśāvarā* ‖

Vasiṣṭha III, 20:

> *cāturvidyaṃ vikalpī ca aṅgavid dharmapāṭhakaḥ* |
> *āśramasthās trayo mukhyāḥ parṣad eṣāṃ daśāvarā* ‖

Gautama 28, 48. 49: *anājñāte daśāvaraiḥ śiṣṭair ūhavadbhir alubdhaiḥ praśastaṃ kāryam* ‖ *catvāraś caturṇāṃ pāragā vedānāṃ prāg uttamāt traya āśramiṇaḥ pṛthagdharmavidas traya ity etān daśāvarān pariṣad ity ācakṣate*;

Manu XII, 110ff:

> *daśāvarā vā pariṣad yaṃ dharmaṃ parikalpayet* |
> *tryavarā vāpi vṛttasthā taṃ dharmaṃ na vicārayet* ‖
> *traividyo haitukas tarkī nairukto dharmapāṭhakaḥ*
> *trayaś cāśramiṇaḥ pūrve pariṣat syāt daśāvarā* ‖
> *ṛgvedavid yajurvic ca sāmavedavid eva ca* |
> *tryavarā pariṣaj jñeyā dharmasaṃśayanirṇaye*[2] ‖

---

[1] Vgl. auch 1, 1, 1, 16.

[2] In derselben technischen Bedeutung begegnet *pariṣat* auch Vas. III, 5; Manu XII, 114:

> *avratānām atantrānāṃ jātimātropajīvinām* |
> *sahasraśaḥ sametānāṃ pariṣattvaṃ na vidyate* ‖

Diese *pariṣads* entsprechen jedenfalls zum Teil den Pañch oder Pañchāyats, wie sie z. B. nach Malcolm[1] in der ersten Hälfte des vorigen Jahrhunderts in den Städten Zentralindiens bestanden. Allerdings setzten sich die Pañchāyats nicht ausschließlich aus Brahmanen zusammen. Die Mitglieder der Pañchāyats wurden vielmehr ohne Rücksicht auf die Kaste durch das Vertrauen ihrer Mitbürger ausgewählt, aber doch gewöhnlich aus solchen Kreisen, die eine Kenntnis des Hindurechtes besaßen; falls das Bedürfnis vorlag, konnten Gelehrte hinzugezogen werden. Die Würde war lebenslänglich und zum Teil in vornehmen Familien erblich. Die Pañchāyats entschieden in allen Fällen der Zivilgerichtsbarkeit, wurden aber auch in Strafsachen in weitem Umfange herangezogen, und von dem Pañch von Ratlam behauptet Malcolm, daß er das Recht ausgeübt habe, sowohl die Einwohner vor Bedrückung zu schützen als auch ihre Streitigkeiten zu schlichten. Ich bin überzeugt, daß die *pariṣad* der Aśokaedikte eine ganz ähnliche Behörde mit richterlichen Funktionen war, und daß sie auch im Kauṭilīyaśāstra 8 gemeint ist, wo in einer Liste von Beamten ein *pariṣadadhyakṣa*, ein Aufseher der *pariṣads*, angeführt wird.

Das Wort *yuta* findet sich noch einmal im Anfang unseres Ediktes: *sarvata vijite mama yutā ca rājūke ca prādesike ca paṃcasu paṃcasu vāsesu anusaṃyānaṃ niyātu* (G). Ich halte es für überflüssig, auf die früheren Deutungen des Wortes einzugehen, da nach den Bemerkungen von Thomas[2] wohl kein Zweifel mehr darüber bestehen kann, daß *yuta* hier bestimmte Beamte bezeichnet. Es fragt sich nur, welcher Art diese Beamten waren. Thomas sieht in den im Anfang genannten *yutas* Subalternbeamte, wie Polizisten usw., in den nachher erwähnten *yutas* Rechnungsbeamte. Nach ihm bezeichnet also dasselbe Wort in demselben Edikte zweimal etwas ganz Verschiedenes, was schon an und für sich ganz unwahrscheinlich ist. Geradezu ausgeschlossen wird aber meines Erachtens die Bedeutung »Subalternbeamter« durch die Stellung des Wortes in dem ersten Satze; es ist doch kaum denkbar, daß die Subalternbeamten vor den hohen Beamten, den Lajjūkas und Prādeśikas, genannt sein sollten. Die ausdrückliche Erwähnung der *yutas* läßt überhaupt darauf schließen, daß sie auf den Inspektionsreisen doch eine bedeutendere Rolle spielten, als einfachen Polizisten jemals zufallen konnte.

Um die Stellung der *yutas* zu ermitteln, haben wir, soweit ich sehe, nur einen Anhaltspunkt. Es heißt, daß die *pariṣads* die *yutas* »anweisen« oder ihnen »befehlen« sollen (*anapayisaṃti* usw.). Das führt darauf, daß die *yutas* der Autorität der *pariṣads* unterstanden;

[1] Memoir of Central India (Kalkutta 1880), I, 460ff.

[2] Vgl. oben 1913, S. 995.

königliche Beamte würden von andern wohl Berichte, aber nicht Befehle entgegennehmen[1]. So scheint es mir, daß wir in den *yutas* der Grundbedeutung des Wortes nach »Beauftragte« zu sehen haben, d. h. nach moderner Ausdrucksweise etwa Delegierte der *pariṣads*, die den Lajjūka und Prādeśika auf den Inspektionsreisen begleiteten[2]. Ich habe schon oben, 1913, S. 1026 f., bemerkt, daß die Lajjūkas Gerichtsbeamte waren; es paßt dazu durchaus, daß Delegierte der Gerichtshöfe mit ihnen zusammen auf die Inspektionsreisen gingen, deren Zweck unzweifelhaft in erster Linie die Revidierung der Rechtspflege in der Provinz war. Unser Edikt stellt ihnen freilich daneben noch eine andere Aufgabe.

Das Wort *gaṇana* oder *gaṇanā* hat die verschiedensten Deutungen gefunden. Burnouf bezog es auf die Aufzählung der in dem Edikt vorher genannten Tugenden. Senart wollte darin lieber einen Ausdruck sehen, der mit *hetute* und *viyaṃjanate* auf gleicher Stufe stände; er erklärt es als »en énumération, d'une façon suivie, en détail«. Burnouf und Senart scheinen mir der Wahrheit näher gekommen zu sein als alle späteren. Pischel, GGA. 1881, S. 1328 nimmt *gaṇanā* in der Bedeutung »Berücksichtigung, Rücksicht«: »auch die Geistlichkeit soll die Gläubigen zur Befolgung (dieser religiösen Vorschriften) anhalten, ihrem Geiste und Buchstaben nach«. Das ist für mich schon wegen der unrichtigen Erklärung von *pariṣad* und *yuta* unannehmbar. Ebenso verfehlt ist wegen der sicher falschen Auffassung von *yutāni* Bühlers Übersetzung: »Auch die (Lehrer und Mönche aller) Schulen werden beim Gottesdienste (*gananasi*)[3] das Geziemende einschärfen, sowohl dem Wortlaute nach als auch mit Gründen.« Eine ganz andere Bedeutung findet endlich Thomas in *gaṇanā*; er nimmt es in dem

[1] Da Bühler a. a. O. S. 21 die Möglichkeit bespricht, das Wort *me* (G K *mama*) anstatt mit *vijita* mit *yutā* zu verbinden, so will ich bemerken, daß das durch die Parallelstellen in F II (J *savata vijitasi devānaṃ piyasa Piyadasine lājine* und entsprechend in den übrigen Versionen) und F V (K *savatā vijitasi mamā*; M *savratra vijitasi maa*; Sh *savatra vijite maha*) ausgeschlossen wird.

[2] Ob die *yutas* mit den *dhaṃmayutas* identisch sind, die in S 4 und 7 genannt zu werden scheinen, ist mir zweifelhaft. Wenn in unserm Edikte die *dhaṃmayutas* gemeint wären, sollte man erwarten, daß sie wenigstens an der ersten Stelle mit ihrem vollen Namen benannt würden.

[3] Wie Bühler zu der Gleichsetzung von *gaṇana* und *kīrtana* kommt, verstehe ich nicht. Später, a. a. O. S. 287, führt er als Beispiel für *gaṇanā* im Sinne von Verherrlichung das Maṅgala der Śilahāra-Inschriften an:

labhate sarvakāryeṣu pūjayā gaṇanā yakaḥ |
vighnaṃ vighnan sa vaḥ pāyād apāyād gaṇanāyakaḥ ||

Das Beispiel könnte im besten Falle nicht viel beweisen, da das Wort *gaṇanā* hier offenbar nur des Yamaka wegen gebraucht ist. Ich sehe aber auch nicht ein, warum wir uns an dieser Stelle nicht mit der gewöhnlichen Bedeutung »Berücksichtigung, Beachtung, consideration«, wie Bühler IA. V, 279 selbst übersetzt, begnügen sollten.

eigentlichen Sinne von Berechnung: »Let the Pariṣads also appoint officials for reckoning.« Auf die Frage: »Was sollen sie berechnen?« antwortet er: offenbar die Ausgaben und die Vorräte, auf die in dem vorausgehenden Satze *apaviyātā apabhaṃḍatā sādhu* (K) Bezug genommen wird. Natürlich ist diese Deutung mit meiner Auffassung von *pariṣad* und *yuta* unvereinbar; sie paßt aber auch nicht zu Thomas' eigener Auffassung von *pariṣad*. Die Empfehlung der *alpavyayatā* und der *alpabhāṇḍatā* bildet nur einen Teil der *dharmānuśāsti* des Königs: »Gut ist der Gehorsam gegen Vater und Mutter, gut die Freigebigkeit gegen Freunde, Bekannte und Verwandte, Brahmanen und Asketen, gut das Nichttöten von lebenden Wesen, gut ist es, wenig auszugeben und wenig aufzuspeichern.« Diese *dharmānuśāsti* ist doch sicherlich nicht für die Mitglieder des buddhistischen oder irgendeines andern Mönchsordens bestimmt. Der König müßte doch wahrlich nichts von dem Geiste dieser Orden gewußt haben, wenn er die Mönche zum Gehorsam gegen die Eltern hätte ermahnen wollen. Die Ermahnung zur Freigebigkeit wäre absolut sinnlos und die Einschärfung der *ahiṃsā* vollkommen überflüssig. Die *dharmānuśāsti* des Königs kann nur an seine Untertanen gerichtet sein, und zwar gerade an diejenigen, die nicht dem geistlichen Stande angehören. Dann kann aber auch der Satz »gut ist es, wenig auszugeben und wenig aufzuspeichern« nur eine allgemeine Mahnung enthalten, zwischen Verschwendung und Geiz den mittleren Weg zu wandeln. Wenn unmittelbar darauf eine Bestimmung über die Art der Verwaltung des Ordensvermögens folgen sollte, so könnte sie nur durch eine rein äußerliche Ideenassoziation hier angefügt sein. Das aber ist doch ganz unwahrscheinlich. Zweitens aber passen die Worte *hetute ca viyaṃjanate ca* nicht zu der »Berechnung«. Nach Thomas soll *hetute* hier »nach den Gegenständen (objects)«, *viyaṃjanate* »nach den tatsächlichen Dokumenten oder Zahlen (actual documents or figures)« bedeuten. Beide Worte wären hier also in ganz ungewöhnlichen Bedeutungen gebraucht, für die es schwer fallen dürfte, andere Belege beizubringen. Thomas hat die Schwierigkeit offenbar selbst gefühlt. Er bemerkt selbst, daß *hetu* für gewöhnlich »Grund« und *vyañjana* »genauer Wortlaut« bedeute, und daß man sich daher versucht fühlen könne, »with regard to the dictates of reason and the prescriptions of actual texts« zu übersetzen. Ich muß gestehen, daß mir diese Attribute für eine Rechnungsaufstellung etwas seltsam vorkommen; sie erscheinen vielleicht noch seltsamer, wenn man ohne alles Drehen und Deuteln wörtlich übersetzt »unter Angabe von Gründen[1] und im festen Wortlaut.«

---

[1] Daß dies der eigentliche Sinn von *hetute* ist, zeigt die Variante *hetuvatā* in K.

Ich möchte den bisherigen Versuchen gegenüber auf eine Stelle des Dīpavaṃsa verweisen, die, wie mir scheint, das richtige Verständnis von *gaṇana* und damit des ganzen Satzes erschließt. Dīp. VI, 86 ff. wird erzählt, wie Aśoka die große Versammlung der Mönche nach der Einteilung des Dhamma befragt:

tato pucchi sugambhīraṃ dhammakkhandaṃ sudesitaṃ ‖ 86
atthi bhante paricchedo desit' ādiccabandhunā |
nāmaṃ liṅgaṃ vibhattiñ ca koṭṭhāsañ cāpi saṃkhataṃ |
ettakaṃ 'va dhammakkhandaṃ gaṇanaṃ atthi pavediya ‖ 87
atthi rāja gaṇitvāna desit' ādiccabandhunā |
suvibhattaṃ supaññattaṃ suniddiṭṭhaṃ sudesitaṃ ‖ 88
sahetuṃ atthasampannaṃ khalitaṃ n'atthi subhāsitaṃ |
satipaṭṭhānaṃ sammappadhānaṃ iddhipādañ ca indriyaṃ ‖ 89
balaṃ bojjhaṅgaṃ maggaṅgaṃ suvibhattaṃ sudesitaṃ |
evaṃ sattappabhedañ ca bodhipakkhiyam uttamaṃ ‖ 90
lokuttaraṃ dhammacaraṃ navaṅgaṃ satthusāsanaṃ |
vitthāritaṃ suvibhattaṃ desesi dīpaduttamo ‖ 91
caturāsītisahassāni dhammakkhandaṃ anūnakaṃ |
pāṇānaṃ anukampāya desit' ādiccabandhunā ‖ 92

»Darauf fragte er nach der sehr tiefen, wohl gelehrten Einteilung des Dhamma: »Ist, ihr Ehrwürdigen, eine Einteilung von dem Sonnenverwandten gelehrt worden, indem er Nomina, Geschlecht, Kasusendungen ...[1] angab? Ist da eine Zählung: soundso viel sind die Abschnitte des Dhamma?«

Die Mönche antworten: »Es ist, o König, von dem Sonnenverwandten verkündet worden, indem er eine Zählung machte; es ist wohl eingeteilt, wohl verkündet, wohl erklärt, wohl gelehrt worden, mit Gründen versehen, sinnvoll, wohl gesprochen, ohne Fehler.«

Im folgenden werden dann verschiedene Einteilungen des Dhamma in 7 Kategorien, in die bekannten 9 Aṅgas und endlich in 84000 Abschnitte angeführt, und Aśoka beschließt 84000 *ārāmas*, für jeden Abschnitt einen, zu erbauen.

In dieser Stelle finden sich zwei der Ausdrücke unseres Ediktes wörtlich wieder, und der dritte ist wenigstens dem Inhalte nach vorhanden. Für die Lehre des Buddha besteht ein *gaṇana*; er hat sie *gaṇitvāna* verkündet, d. h. indem er den Stoff in Abschnitte einteilte und diese Abschnitte numerierte. Ebenso sollen die *pariṣads* die *yutas* mit der *gaṇanā* oder dem *gaṇana* beauftragen. Der Buddha hat seine Lehre *sahetuṃ* verkündet, mit Angabe von Gründen. Die *yutas* sollen

[1] Die Worte *koṭṭhāsañ cāpi saṃkhataṃ* sind mir nicht klar. Oldenberg: »and also according to sections and to the composition.«

das *gaṇana hetute* oder *hetuvatā* machen. Endlich hat der Buddha seine Lehre verkündet, indem er *nāma*, *liṅga* und *vibhatti* angab, was in diesem Zusammenhange nur bedeuten kann »in festem Wortlaut«. Die *yutas* sollen das *gaṇana viyaṃjanate* machen. Die Entsprechungen scheinen mir so genau, daß ich nicht zweifle, daß wir übersetzen müssen: »Die Richterkollegien sollen auch ihre Delegierten mit der Paragraphierung unter Angabe von Gründen und in festem Wortlaute beauftragen.« Es fragt sich nun nur noch, was denn in dieser Weise kodifiziert werden soll. Meiner Ansicht nach kann es sich nur um die im vorhergehenden erwähnte Morallehre des Königs handeln, die in dem Edikte natürlich nur kurz skizziert ist. Es ist also in dem ganzen Edikte nur von einer Sache die Rede, der Ausbreitung des Dharma des Königs; ihn sollen die *yutas*, der Lajjūka und der Prādeśika auf den Inspektionsreisen den Untertanen verkünden, nachdem die *yutas* ihn im Auftrage der *pariṣads* genau fixiert haben. Daß Aśoka sich gerade der hohen Gerichtsbeamten, der Lajjūkas, und der Richterkollegien, der *pariṣads*, zur Verbreitung seines Dharma bedient, kann nicht verwunderlich erscheinen, wenn man bedenkt, wie untrennbar auch in den Dharmaśāstras Recht und Moral verbunden sind[1].

In dem fünften Felsenedikte heißt es bei der Aufzählung der verschiedenen Geschäfte der Dharmamahāmātras, daß sie beschäftigt seien *baṃdhanabadhasā paṭividhānāye apalibodhāye mokhāye cā* (K). Bühler übersetzt das merkwürdigerweise »mit dem Verhindern von (ungerechtem) Gefangennehmen und Töten[2], mit dem Beseitigen von Hindernissen, mit dem Lösen von Banden« (Beitr. S. 36) und sagt, der Gen. Sing. sei, wie Senart bemerkt habe, eigentümlich, könne aber dadurch erklärt werden, daß man das Wort als ein Samāhāra-dvandva fasse. Senart übersetzt aber ganz richtig »celui qui est dans les chaines«. Es ist natürlich ausgeschlossen, daß *baṃdhana-badhasā* etwas anderes sein könne als Sk. *bandhanabaddhasya*. Die Wurzel *vadh* und ihre Ableitungen zeigen im Veda stets *v* im Anlaut, und *badh* ist, wo es vorkommt, nichts weiter als schlechte östliche Schreibung. Zudem steht *vadhe* selbst in F XIII, *baṃdhanabadhānaṃ*, »der Gefangenen«, anderseits in S 4. Es kann aber auch keinem Zweifel unterliegen, daß Senart Recht hat, wenn er den Genitiv mit allen drei Substantiven, die folgen, verbindet: »ils s'occupent de récon-

[1] [Auf K. E. Neumanns Aufsatz, ZDMG. 67, S. 345 f., bin ich erst nachträglich aufmerksam geworden. Zu einer Änderung meiner Übersetzung gibt es mir keinen Anlaß.]

[2] Ep. Ind. II, S. 468; Buddh. Stupas of Amar. S. 123, wird dies Wort durch »unjust corporal punishment« ersetzt. Die falsche Übersetzung des Wortes hat auch Smith, Asoka[2], übernommen.

forter celui qui est dans les chaines, de lever pour lui les obstacles, de le délivrer«; für Bühler war die Verbindung bei seiner unrichtigen Auffassung von *-badhasā* natürlich unmöglich. So ist es auch klar, daß *paṭividhāna* nicht »verhindern« heißen kann. Was das Wort wirklich bedeutet, zeigt eine Stelle im achten Edikte. In der Beschreibung der Dharmayātrā wird gesagt, daß dabei stattfinde *samanabaṃbhanānaṃ dasane cā dāne ca vudhānaṃ dasane ca hilaṃnapaṭividhāne cā jānapadasā janasā dasane dhaṃmanusathi cā dhamapalipuchā ca*[1]. Die Konstruktion dieses Satzes hat weder Senart noch Bühler richtig erkannt. Senart übersetzt »la visite et l'aumône aux brâhmanes et aux çramaṇas, la visite aux vieillards[2], la distribution d'argent, la visite aux peuple de l'empire, son instruction religieuse, les consultations sur les choses de la religion«. Bühlers Übersetzung ist damit im wesentlichen identisch: »the reception of, and almsgiving to, Brahmans and ascetics, the reception of the aged, the distribution of gold, the reception of the people of the provinces, the preaching of the Sacred Law and inquiries concerning the Sacred Law«. Es ist aber doch klar, daß die Aufzählung aus drei durchaus konformen Gliedern besteht, in denen jedesmal der Genitiv von den folgenden Worten abhängt: 1. *samanabaṃbhanānaṃ dasane cā dāne ca*; 2. *vudhānaṃ dasane ca hilaṃnapaṭividhāne cā*; 3. *jānapadasā janasā dasane dhaṃmānusathi cā dhamapalipuchā ca*. *Hilaṃnapaṭividhāne* ist natürlich »die Unterstützung durch Gold«[3], und auch an unserer Stelle ist *paṭividhāna* zweifellos »Geldunterstützung«, die durchaus verständlich ist, da die Gefangenen sicherlich selbst für ihren Unterhalt während der Haft zu sorgen hatten. Auch der zweite Ausdruck, *apalibodha*, ist kaum richtig verstanden. Senart ist zu der Bedeutung »obstacle« für *palibodha* durch das Pali gekommen; Inscr. II, S. 137 f. bezeichnet er es als ein Synonym von *baṃdhana*, da in Sep. I *akasmā palibodhe va akasmā palikilese va* deutlich dem vorher erwähnten *baṃdhanaṃ vā palikilesaṃ vā* entspreche. Bühler (Beitr. S. 39) sieht in *apalibodhe* »die Verhinderung einer ungerechten Beeinträchtigung der Rechte, sei es einzelner, sei es der Kasten und Sekten«. In der Übersetzung von Sep. I (Beitr. S. 135, Buddh. Stupas of Amar. S. 130) gibt er *palibodhe* durch »Gefängnis«, »imprisonment« wieder. Daß die Bedeutung »Beeinträchtigung«, nicht richtig sein kann, geht daraus hervor, daß in Sep. I von einem *akasmā palibodhe*

---

[1] Nach K. Die Varianten in den übrigen Versionen sind so geringfügig, daß sie nicht angeführt zu werden brauchen. Ich gebe den Satz zunächst in der allgemein angenommenen Form; in Wahrheit gehört noch das nächste Wort dazu.

[2] Warum Senart dazu die Bemerkung macht »manque à Dh. et J.«, verstehe ich nicht.

[3] Für die Bedeutung »Fürsorge« s. das P. W. unter *prativídhāna*.

die Rede ist, einem »grundlosen« *palibodha*, den die Stadtrichter verhindern sollen; es gab also auch einen berechtigten *palibodha*[1]. Völlig identisch mit *baṃdhana* kann aber *palibodha* auch nicht sein, da sonst an unserer Stelle *apalibodhāye* und *mokhāye* eine Tautologie sein würde. Mir scheint daraus hervorzugehen, daß *palibodha* die Fesselung im eigentlichen Sinne bedeutet; auch für Pali *palibodha* und *palibuddhana* paßt die Bedeutung »Fessel, Fesselung«, soweit ich sehe, überall; nur werden die Wörter hier, wie es scheint, stets im übertragenen Sinne verwendet[2]. An unserer Stelle liegt also eine Steigerung der Ausdrücke vor: die Dharmamahāmātras sollen die Gefangenen entweder mit Geld unterstützen oder ihnen die Fesseln abnehmen lassen, so daß sie sich im Gefängnis frei bewegen können, oder endlich ihre völlige Entlassung aus der Haft veranlassen[3].

Den Schlußsatz des Ediktes haben alle Übersetzer bisher falsch verstanden. Er lautet in Dh: *imāye aṭhāye iyaṃ dhaṃmalipī likhitā cilaṭhitīkā hotu tathā ca me pajā anuvatatu.* Die letzten Worte sind in J und G nicht erhalten; in K lauten sie *tathā ca me pajā anuvataṃtu*[4], in M *tathaṃ ca me praja anuvaṭatu*; in Sh fehlt das *me* wohl nur aus Versehen: *tatha ca praja anuvatatu.* Senart übersetzt: »et puissent les créatures suivre ainsi mes exemples«, Bühler: »und (damit) diese[5] meine Untertanen es befolgen«, »and that my subjects may act accordingly«. Allein *pajā* bedeutet in den Edikten niemals Untertan, sondern stets Kind, Nachkomme: S 4: Denn gleichwie einer, wenn er sein Kind (*pajaṃ*) einer verständigen Amme übergeben hat, vertrauensvoll ist:

---

[1] Bühler, Beitr. S. 137f., nimmt auch für *palikilesa* die Bedeutung »harkat, Unbill, Schererei, Bedrückung« an; die angeführte Stelle zeigt, daß das nicht richtig sein kann. Offenbar hat Senart recht, wenn er das Wort durch »torture« übersetzt (Ind. Ant. XIX, S. 88).

[2] Zu beachten ist auch, daß Vopadeva eine Wurzel *bundh* (*bundhayati*), die doch wohl mit *palibodha* zusammenhängt, mit der Bedeutung »binden«, *saṃyamane*, kennt.

[3] Natürlich muß *apalibodha* die Bedeutung »Befreiung von Fesseln« auch in dem vorhergehenden Satze haben: *bhaṭamayesu baṃbhanibhesu anathesu vudhesu hidasukhāye dhaṃmayutāye apalibodhāye viyāpaṭā te* (K). Vielleicht ist hier an Schuldhaft zu denken. Nach den Dharmaśāstras konnte der Gläubiger den Schuldner gebunden in sein Haus führen; s. Jolly, Recht und Sitte, S. 147. Da V. A. Smith auch noch in der zweiten Auflage seines Asoka Dh *anāthesu*, K *anathesu*, Sh M *anatheṣu* durch »among the needy« wiedergibt (S. 162), so will ich darauf hinweisen, daß Bühler, Ep. Ind. II, S. 468; Buddh. Stupas of Amar. S. 123, den alten Fehler längst berichtigt hat. Das Wort entspricht selbstverständlich Sk. *anātheṣu*, »unter den Schutzlosen«. Ginge es auf Sk. *anartheṣu* zurück, so müßte es in Dh und K *anaṭhesu*, in Sh und M *anaṭheṣu* oder *anathreṣu* lauten.

[4] Bühler klammert das *ṃ* ein, und auf der Phototypie ist es nur schwach sichtbar. Mir ist es daher sehr wahrscheinlich, daß in K ebenso wie in den übrigen Versionen *anuvatatu* zu lesen ist.

[5] »Diese« beruht auf der falschen, später berichtigten Lesung *ceme* für *ca me* in K.

»die verständige Amme wird imstande sein, meines Kindes (*pajaṃ*) gut zu warten« . .; Sep. I und II: Alle Menschen sind meine Kinder (*pajā*). Wie ich meinen Kindern (*pajāye*) wünsche, daß ihnen Heil und Glück zuteil werde . . .; Sep. II: Wie ein Vater ist der Göttergeliebte zu uns . . ., und wie Kinder (*pajā*) sind wir zu dem Göttergeliebten; F V: [Die Dharmamahāmātras, sollen den Gefangenen unterstützen, indem sie bedenken:] »er hat Kinder (Dh *anubaṃdhapaja* usw.)«. Die Übersetzung des Wortes durch Untertanen ist überdies an unserer Stelle unzulässig, weil das Edikt von der Einsetzung und Verwendung der Dharmamahāmātras handelt, also einer Sache, die den »Untertanen« überhaupt nicht zur Nachahmung empfohlen werden kann. Es kann daher keinem Zweifel unterliegen, daß wir übersetzen müssen: »Zu folgendem Zwecke ist dieser Gesetzeserlaß geschrieben worden: er soll langen Bestand haben, und meine Nachkommen sollen demgemäß handeln.« Was der König hier unter *me pajā* zusammenfaßt, bezeichnet er im Anfang des Ediktes genauer durch *mama putā cā natāle cā palaṃ cā tehi ye apatiye me* (K). Ähnliche Formeln begegnen wiederholt; man vergleiche insbesondere den unserm Satze genau parallelen Schlußsatz von F VI: *ta etāya athāya ayaṃ dhaṃmalipī lekhāpitā kiṃti ciraṃ tisṭeya iti tathā ca me putrā potā ca prapotrā ca anuvatarāṃ savalokahitāya* (G; Dh *putā papotā*; J . . . *potā*; K *putadāle*; Sh *putra nataro*; M *putra natare*).

Der einzige Satz in dem kurzen siebenten Felsenedikte, der zu Bemerkungen Anlaß gibt, ist der letzte: Dh *vipule pi ca dāne asa nathi sayame bhāvasudhī ca nīce bāḍhaṃ*[1]; K *vipule pi cu dānaṃ asā nathi sayame bhāvasudhi kiṭanātā diḍhabhatitā cā nice bāḍhaṃ*; Sh *vipule pi cu dane yasa nasti sayama bhavaśudhi kiṭrañata diḍhabhatita nice paḍhaṃ*; M *vipule pi cu dane yasa nasti sayame bhavaśuti kiṭanata driḍhrabhatita ca nice baḍhaṃ*; G *vipule tu pi dāne yasa nāsti sayame bhāvasudhitā va kataṃñatā va daḍhabhatitā ca nicā bāḍhaṃ*. Senart übersetzt das: »mais au moins tel qui ne fait pas d'abondantes aumônes possède la domination sur ses sens, la pureté de l'âme, la reconnaissance, la fidélité dans les affections, ce qui est toujours excellent.« Auch die Erläuterungen Senarts können mich von der Richtigkeit dieser Behauptung nicht überzeugen; es ist aber unnötig, auf die Frage einzugehen, da die Übersetzung schon durch die Fassung der beiden letzten Wörter als unrichtig erwiesen wird. *Nice, nice, nicā* sollen für Sk. *nityam* stehen. Schon das lange *ā* von G wäre dann unerklärlich. Es gibt in G, wenn ich recht sehe, keinen zweiten Fall, wo *-ā* für auslautendes *-aṃ* stände; *pūjā* in *na tu tathā dānaṃ va pūjā va devānaṃ*

[1] Was in J von dem Satze erhalten ist, stimmt mit der Lesung von Dh überein.

diyo maṃñate; *devānaṃ piyo no tathā dānaṃ va pūjā va maṃñate* (F XII) ist Plural wie in Dhp. 73:

> *asataṃ bhāvanam iccheyya purekkhārañ ca bhikkhusu* |
> *āvāsesu ca issariyaṃ pūjā parakulesu ca* ||

Ferner sollten wir in dem östlichen Dialekt von Dh J K anstatt *nice*, *nice* vielmehr *nitye* oder *nitiye* erwarten; das mit demselben Suffix gebildete *apatyam* erscheint in F V in Dh K als *apatiye*[1]. Ganz unwahrscheinlich ist es auch, daß in diesem Worte jemals Dehnung des Vokals der Stammsilbe eingetreten sein sollte, wie wir nach der Lesart von Dh J annehmen müßten. Endlich liegt in F XIV in K *nityam* tatsächlich in der Form *nikyaṃ* vor[2]. Was das zweite Wort, *bāḍhaṃ*, betrifft, so gilt ja allerdings bei den Sanskritgrammatikern *bāḍha* als Positiv zu *sādhīyas*, *sādhiṣṭha* (Pāṇ. 5, 3, 63); in der Sprache kommt das Wort aber kaum anders denn als Adverb in der Bedeutung »in hohem Grade« usw. vor, und in dieser Bedeutung findet es sich auch in den Edikten: S 7 *etaṃ jane sutu anupaṭīpajīsati abhyuṃnamisati dhaṃmavaḍhiyā ca bāḍhaṃ vaḍhisati*, »wenn die Leute dies hören, werden sie es befolgen, sich emporheben und mächtig im Gesetzeswachstum wachsen«; F XIII (K) *avijitaṃ hi vijinamane e tatā vadhaṃ vā malane vā apavahe vā janasā ṣe bāḍha vedaniyamute gulumute cā devānaṃ piyaṣā iyaṃ pi cu tato gahunatatale devānaṃ piyaṣā*, »wenn man ein unerobertes Land erobert — das Morden, das [dann] dort [stattfindet] oder das Sterben oder das Wegschleppen der Menschen, das erscheint dem Göttergeliebten in hohem Grade schmerzlich und bedauerlich; das folgende aber erscheint dem Göttergeliebten noch bedauerlicher als jenes«; F XII (K) *hevaṃ kalata atapaśaḍā bāḍhaṃ vaḍhiyati palapāśaḍa pi vā upakaleti*, »wenn man so handelt, fördert man die eigene Sekte in hohem Grade und tut anderseits auch der fremden Sekte Gutes«; F XII (K) *ṣe ca punā tathā kalaṃtaṃ bāḍhatale upahaṃti atapāṣaṃḍaṣi*, »der schädigt, wenn er so handelt, in höchstem Grade (oder in noch höherem Grade) die eigene Sekte«; Sah. *na ca bāḍhaṃ palakaṃte*; »ich habe mich aber nicht sehr angestrengt«. Danach ist es doch ganz unwahrscheinlich, daß *bāḍhaṃ* hier eine völlig andere Bedeutung haben sollte.

Bühlers Übersetzung von Sh lautet: »But self-control, purity of mind, gratitude and firm attachment are laudable in a lowly man to whom even great liberality is impossible.« *Nīce*, *nice*, *nicā* wird hier

---

[1] So auch M; G *apacaṃ*, Sh *apaca*. In der Behandlung der Konsonantenverbindungen mit *y* zeigt sich ein tiefgehender Unterschied zwischen dem östlichen und den beiden andern Dialekten.

[2] In Dh J ist das Wort nicht erhalten; in Sh und G fehlt es. Zu der Schreibung vgl. Bühler, Beitr. S. 122.

sicherlich richtig von Sk. *nīca* abgeleitet. Da die Vokallänge in Sh und M überhaupt nicht und in K wenigstens nicht bei *ī* und *ū* bezeichnet wird, so macht nur das *nicā* von G noch Schwierigkeiten; eine Erklärung werde ich im folgenden versuchen. Im übrigen freilich muß auch Bühlers Übersetzung als verfehlt bezeichnet werden. Er hat die unrichtige Auffassung von *bāḍhaṃ* beibehalten und sieht in *nīce* einen Lokativ; der Lokativ müßte aber, wie ich schon oben, 1913, 989f., bemerkt habe, in Dh J K *nīcasi* lauten. Ganz unerklärt bleibt auch das *ā* von *nicā* in G. Ep. Ind. II, S. 468, Anm. 10, will Bühler allerdings *nicā* als Kontraktion von *nicāya* erklären, indem er auf *nijhapayitā* in S 4 verweist. Ich habe oben, 1913, S. 1024, zu zeigen versucht, daß diese Form kein Dativ ist. Ich verstehe aber auch gar nicht, wie hier ein Dativ konstruiert werden sollte.

Thomas[1] endlich will *bāḍham* durch »altogether« und *nīce* (= *nityam*) durch »permanent« oder »indispensable« wiedergeben. Daß die Ableitung des *nīce* von *nityam* lautlich unmöglich ist, habe ich schon bemerkt.

Ich nehme *bāḍhaṃ* in dem gewöhnlichen Sinne und erkläre *nīce* als Nom. Sing. von *nīca* und die Wörter von *vipule* bis *bhāvasudhī ca* bzw. *diḍhabhatitā cā* als einen aus zwei Relativsätzen zusammengezogenen Satz: Sk. *vipulam api tu dānaṃ yasya* (*asti*) *nāsti saṃyamaḥ bhāvaśuddhiś ca* (*sa*) *nīco bāḍham*, »wenn einer aber auch große Freigebigkeit besitzt, nicht aber Selbstbezähmung und Herzensreinheit, so ist er ein sehr gemeiner (oder sicherlich ein gemeiner) Mensch«. Da *asti* in solchen Sätzen gewöhnlich fortgelassen wird, so würde der Satz auch im Sanskrit nichts Auffälliges haben. Natürlich kann man, da in dem östlichen Dialekt auch das Neutrum im Nom. Sing. auf *-e* ausgeht, *nīce bāḍhaṃ* auch als »(*tan*) *nīcaṃ bāḍham*« auffassen, »so ist das sehr (oder sicherlich) niedrig«. So scheint der Übersetzer von G den Satz verstanden zu haben, denn *nicā* ist offenbar das vedische Adverb *nīcā*, das in dem westlichen Dialekt wahrscheinlich unter dem Einfluß von *uccā* zu *niccā* umgestaltet wurde. Bei dieser Auffassung schließt sich der Satz auch vortrefflich an das Vorhergehende an, in dem der König betont, daß Selbstzucht und Herzensreinheit das Wesentliche sei, dem alle Sekten nachstreben, wenn auch bei der Verschiedenartigkeit der menschlichen Charaktere nicht alle das Ziel vollständig erreichen. Nach dem ganzen Zusammenhange kann es nicht zweifelhaft sein, daß die »Dankbarkeit« und »treue Ergebenheit« in K Sh M erst nachträglich hinzugefügt sind; die Versionen von Dh J stehen, wie sprachlich, so auch inhaltlich dem Originale am nächsten.

---

[1] Nach Smith, Asoka², S. 165, Anm. 1.

Aus dem achten Felsenedikte habe ich den Satz, der die Dharmayātrā beschreibt, schon oben besprochen. Der unmittelbar folgende Satz lautet in Dh *tadopayā esa bhūye abhilāme hoti devānaṃ piyasa Piyadasine lājine bhāge aṃne*[1]; K *tatopayā ese bhuye lāti hoti devānaṃ piyasā Piyadasisā lājine bhāge aṃne*; Sh *tatopayaṃ eṣa bhuye rati hoti devanaṃ priyasa Priyadraśisa raño bhagi aṃñi*; M *tatopaya eṣe bhuye rati hoti devana priyasa Priyadraśisa rajine bhage ane*: G *tadopayā esā bhuya rati bhavati devānaṃ piyasa Priyadasino rāño bhāge aṃñe*. *Tadopaya* oder *tatopaya* hat Senart unzweifelhaft richtig als Äquivalent von Pali *tadūpiya* gefaßt; die richtige Beziehung des Wortes scheint mir aber bisher verkannt zu sein. In Dh müßte nach der bisherigen Auffassung das Femininum *tadopayā* auf *abhilāme* bezogen werden, das Maskulinum oder Neutrum sein kann, jedenfalls aber kein Femininum ist. Diese Nichtkongruenz des Geschlechts ist Senart nicht entgangen; er will daher *tadopayā* in *tadopaye* ändern (Inscr. I, S. 191 f.). Daß solche Änderungen unstatthaft sind oder doch nur im alleräußersten Notfalle, wenn alle anderen Interpretationsversuche versagen, gemacht werden dürfen, wird jetzt niemand mehr bestreiten. Hier ist die Annahme eines Schreibfehlers ganz überflüssig, denn nichts hindert uns, *tadopayā* zu dem vorangehenden Satze zu ziehen. Auf der Dharmayātrā des Königs findet statt: *jānapadasa janasa dasane ca dhaṃmānusathī ca* [*dhaṃ*]*ma*[*pa*]*lipuchā ca tadopayā*, »der Besuch der Bewohner der Provinzen und ihre Unterweisung im Dharma und ihre passende (oder entsprechende) Befragung nach dem Dharma«. In Sh, wo *tatopayaṃ* steht, haben wir das Adverb anzunehmen: »in passender Weise«.

Schwieriger sind die folgenden Worte. Ich habe schon oben, 1913, S. 990, auseinandergesetzt, daß die bisher angenommene Gleichsetzung von *bhāge aṃne* mit Pali *aparabhāge* wenigstens in Dh J K unmöglich ist, und daß die Worte hier nur Nom. Sing. sein können. Es ist ferner kaum möglich, in K und M *ese*, bzw. *eṣe* mit Senart und Bühler auf *lāti*, bzw. *rati* zu beziehen: »dies ist das Vergnügen«, da *lāti* seiner ganzen Bildung nach doch kaum ein Maskulinum sein kann. *Bhūye* endlich soll nach Senart (Inscr. I, S. 190) »en revanche, en échange des plaisirs abandonnés« bedeuten, ein Bedeutungsübergang, den ich nicht verstehe. Bühler übersetzt es (Beitr. S. 54)[2] richtiger durch »mehr und mehr«. In diesem Sinne erscheint das Wort auch in S 7: *tata cu lahu se dhaṃmaniyame nijhatiyā va bhuye*, »von diesen (beiden) sind die Gesetzesverbote das Geringere, mehr (geschieht) durch die Anregung zum Nachdenken«; *nijhatiyā va cu bhuye munisānaṃ dhaṃmavaḍhī*

[1] Was in J von dem Satze erhalten ist, zeigt keine Abweichungen.

[2] In der Übersetzung Ep. Ind. II, S. 469 hat er sich Senart angeschlossen: »in exchange *for past pleasures*.«

vaḍhitā, »durch die Anregung zum Nachdenken ist aber die Gesetzesförderung im höheren Maße unter den Leuten gefördert worden«. Mir erscheint es danach notwendig, *ese* auf *bhāge aṃne* zu beziehen und in *bhuyelāti*, *bhuyerati* ein Bahuvrīhi zu sehen mit der Bedeutung »größere Freude bereitend«[1]: »diese, (nämlich) die zweite Periode, bereitet dem göttergeliebten König Priyadarśin größere Freude«. Der König teilt sein Leben in zwei Abschnitte; in dem ersten genoß er die Freuden der Jagd und ähnlicher Vergnügungen, in dem zweiten gewähren ihm höhere Befriedigung die Dharmayātrās. Ebenso wie *bhuyelāti* in K und *bhuyerati* in M läßt sich natürlich *bhūyeabhilāme* in Dh und *bhuyerati* in Sh auffassen. Der Übersetzer von G hat aber meiner Ansicht nach die Konstruktion des Satzes nicht verstanden und den Text, wie er es auch an anderen Stellen tut, verändert. In G ist *bhāge aṃñe* offenbar Lokativ und *bhuyarati* kein Bahuvrīhi, sondern Karmadhāraya[2]: »Dies ist ein größeres Vergnügen für den göttergeliebten König Priyadarśin in (seiner) zweiten Periode«.

Der Schluß des neunten Felsenediktes liegt in zwei ganz verschiedenen Fassungen vor, von denen nur die in K Sh M erscheinende zu Bemerkungen Anlaß gibt. Der Text lautet nach Bühler in K: *imaṃ katham iti*[.] *e hi ivale magale saṃsayikye se hoti*[3][.] *siyā va taṃ aṭhaṃ nivaṭeyā siyā punā no hidalokike va vase*[.] *iyaṃ punā dhaṃmamagale akālikye*[.] *haṃce pi taṃ aṭhaṃ no niṭe ti hida aṭhaṃ*[4] *palata anaṃtaṃ punā pacasati*[5][.] *haṃce punā taṃ aṭhaṃ nivate ti hida tato ubhayesaṃ*[6] *ladhe hoti hida cā se aṭhe palatā cā anaṃtaṃ punnaṃ pasavati tenā dhaṃmamagalenā*. Die erste Frage lautet in Sh *nivuṭaspi va pana imaṃ keṣa*, in M *nivuṭasi va puna ima keṣam iti*; im übrigen stimmen Sh und M im wesentlichen mit K überein.

Im Vorhergehenden wird der Unterschied auseinandergesetzt zwischen den Maṅgalas, die die Menschen gewöhnlich betreiben, und dem Dharmamaṅgala, d. h. der Befolgung der Dharma durch gebührendes Benehmen gegen Sklaven und Diener, Ehrerbietigkeit gegen ehrwürdige Personen usw. Auf dieses Dharmamaṅgala sollen sich die Leute gegenseitig hinweisen, indem sie sagen: »Dies ist (etwas) Gutes; dies muß als Maṅgala gemacht werden bis der Zweck erreicht ist«. Unmittelbar daran schließt sich unsere Stelle. Die einfache Wendung, die in K zur Anknüpfung dient, macht keine Schwierigkeiten. Den überleitenden Satz

---

[1] Ähnlich wollte übrigens schon Burnouf die Worte zum Kompositum verbinden.

[2] Daß das Wort Kompositum ist, scheint mir aus dem Gebrauch der Stammform *bhuya* hervorzugehen.

[3] Ob *hoti* dasteht, ist zweifelhaft.

[4] Schreibfehler für *atha*.

[5] Schreibfehler für *pasavati*.

[6] Vielleicht ist *ubhayenaṃ* oder *ubhayenāṃ* (für *ubhayānaṃ*?) zu lesen.

in Sh übersetzt Bühler *nirvṛtta eva punar idaṃ keṣām*, »auf welcher (Heilsmittel) Gelingen (bezieht sich) aber dieses?« (Beitr. S. 179); »to the success of which *auspicious rites does* this *refer*?« (Ep. Ind. II, S. 469). Diese Erklärung ist sicherlich nicht richtig. Es handelt sich im folgenden nicht etwa um neue Maṅgalas, wie man nach der Frage annehmen müßte, sondern um die verschiedenen Wirkungen, die die beiden vorhergenannten Arten von Maṅgalas haben. Es ist also zu übersetzen: »Für das Gelingen von welchen (Dingen) aber (ist) dies (nämlich das Maṅgala, da),« oder freier: »Was bewirkt aber dies Maṅgala?« In der Antwort wird zunächst die Wirkung des gewöhnlichen Maṅgala beschrieben, dann die viel größere des Dharmamaṅgala: »Was das Maṅgala betrifft, das sich auf irdisches Glück bezieht, so ist es zweifelhaft. Vielleicht bewirkt es die gewünschte Sache, vielleicht aber auch nicht, und (jedenfalls) bleibt es (in seiner Wirkung) auf das Diesseits beschränkt. Dies Dharmamaṅgala aber ist an keine Zeit gebunden. Wenn es die gewünschte Sache im Diesseits nicht bewirkt, so entsteht daraus (doch) unendliches religiöses Verdienst im Jenseits. Wenn es aber die gewünschte Sache im Diesseits bewirkt, dann (findet) Erlangung von beiden (statt). Im Diesseits entsteht die gewünschte Sache und im Jenseits unendliches religiöses Verdienst infolge dieses Dharmamaṅgala.«

Im einzelnen bemerke ich dazu folgendes. *Nivuta* (für *nivvutta*) hat Bühler sicherlich richtig im Sinne von *nirvṛtti* genommen, so wie im Sanskrit *gata* für *gati*, *mata* für *mati* gebraucht wird. In der Sprache der Edikte ging diese Bildung von Nomina actionis, wie es scheint, weiter als im Sanskrit. Dem vorletzten Satz von K *tato ubhayesaṃ ladhe hoti* entspricht in Sh *tato ubhayasa ladhaṃ bhoti*, in M *tato ubhayasa va ladhe hoti*. Bühler, Beitr. S. 180, will *ubhayasa* als Genitivus partitivus fassen: »von beiden etwas«. Ein solcher Genitiv dürfte aber sprachlich hier kaum zu rechtfertigen sein, und er paßt auch dem Sinne nach nicht; es wird ja nachher ausdrücklich gesagt, daß beide Zwecke vollständig erreicht werden. Wenn *ladhe*, *ladhaṃ* als Partizip genommen wird, so ergibt sich noch eine andere Schwierigkeit in der Lesart von Sh: *tato ubhayasa ladhaṃ bhoti iha ca so aṭho paratra ca anaṃtaṃ puñaṃ prasavati tena dhramamaṃgalena*. Auch wenn man mit etwas veränderter Auffassung des Genitivs und mit Annahme eines Anakoluths übersetzen wollte: »dann ist von den beiden erlangt im Diesseits die gewünschte Sache, und im Jenseits entsteht unendliches Verdienst durch dieses Dharmamaṅgala«, so müßte sich doch das Neutrum *ladhaṃ* auf das Maskulinum *so aṭho* beziehen[1], was ich für nicht möglich halte. Mir

[1] M hat die Endungen des östlichen Dialekts, *ladhe*, *athre*, die nichts entscheiden.

scheint daher, daß *ladhe, ladhaṃ* im Sinne von Sk. *labdhiḥ* steht, daß hinter *hoti* (*bhoti*) ein Punkt zu setzen ist, und daß *aṭhe* (*aṭho, athre*) wie *puṃnaṃ* (*puñaṃ, puṇaṃ*) das Subjekt zu *pasavati* (*prasavati*) ist[1].

Dem *etrake* von Sh, *atrake* von M entspricht in K *ivale*, das danach die Bedeutung »auf das Diesseits bezüglich« haben muß. Bühler möchte *ivale* mit Apabhr. *evaḍu* zusammenbringen, allein das ist ausgeschlossen, da *ḍ* in dieser Zeit noch nicht als *l* erscheinen kann. Da in K die Länge des *ī* und *ū* nicht bezeichnet wird, so steht *ivale* wahrscheinlich für *īvalle* und ist eine Weiterbildung von ved. *īvat*, das, wie Geldner, Rigveda in Auswahl I, S. 32, richtig gesehen hat, »gegenwärtig«, »dieser hier« bedeutet. Adjektiva, die Zahl, Zeit oder Ort bezeichnen, werden im Prakrit überaus häufig mit *l*-Suffixen gebildet, vor allem auch von Adverbien; s. Pischel, Prakrit-Grammatik § 595. So wird auch *īvalla* Adjektivbildung von dem wie *tāvat, yāvat* adverbial gebrauchten *īvat* sein; formell entspricht AMg. *mahalla* von *mahat*. Die Bedeutung von *īvalla* würde sich dann vollständig mit *etraka* decken.

In der Erklärung der Wörter *hidalokike ca vase* stimme ich mit Senart überein. Bühler, der übersetzt: »aber es mag auch geschehen, daß (sie es) nicht tun und (erfolglos) in dieser Welt zurückbleiben«[2], hat den Punkt, auf den es ankommt, trotz der richtigen Erklärung Senarts übersehen.

Unklar ist mir auch, warum Bühler in seiner letzten Ausgabe das *ti* in K *no ni*[*va**]*ṭeti, nivateti*; Sh *nivaṭeti*; M *na nivaṭeti, nivaṭeti* als *iti* faßt, während er früher die Formen richtig als 3. Sing. Präs. betrachtete. Auch in Sh *yadi puna taṃ aṭham na nivaṭe hia*[3] ist *nivaṭe* wohl nur Schreibfehler für *nivaṭeti*; vgl. in demselben Edikte *ba* für *bahu, pana* für *pana no, dhramaṃgalena* für *dhramamaṃgalena*.

Endlich möchte ich noch darauf hinweisen, daß *apaphale* in K Z. 25 usw. unzweifelhaft auf Sk. *alpaphalam* zurückgeht, nicht auf *apaphalam*, wie Senart und Bühler wollen. Das ergibt sich, wie Smith, Asoka², S. 167 richtig gesehen hat, mit Sicherheit aus dem Gegensatz zu dem folgenden *mahāphale*: *apaphale vu kho ese iyaṃ cu kho*

[1] Bühler schwankt in seinen Auffassungen; Beitr. S. 61 verbindet er *aṭhe* mit *pasavati*, Ep. Ind. II, S. 469 ergänzt er *ladhe* zu *aṭhe*. Daß *pasavati* (*prasavati*) ebenso wie *paśavati* (*prasavati*) in der Parallelstelle in F XI intransitiven Sinn hat, zeigt schon der Zusatz *tenā dhaṃmamagalenā, tenā dhaṃmadānenā* und die Ersetzung durch *bhavati* in G. Ich kann daher der Übersetzung Bühlers, Ep. Ind. II, S. 470: »produces for himself«, nicht zustimmen. *Pasavati* geht aber auch kaum auf Sk. *prasāvyate* zurück, wie Bühler, Beitr. S. 73 meint, da wir dann in K *pasāviyati* erwarten müßten, sondern ist eher Sk. *prasavati*, in intransitivem Sinne verwendet = Sk. *prasūyate*.

[2] Ebenso V. A. Smith, Asoka², S. 167. Die scheinbar abweichende Fassung von Sh erklärt sich sicherlich dadurch, daß hinter *siya pana* das *no* ausgefallen ist.

[3] Vielleicht *ia*.

mahāphale ye dhaṃmamagale (K). Der König bestreitet ja gar nicht, daß die gewöhnlichen Maṅgalas das Glück im Diesseits wirken können, und gibt ja ausdrücklich zu, daß man diese Maṅgalas machen müsse (*se kaṭavi[ye*] *ceva kho maṃgale*); das Dharmamaṅgala steht nur höher.

In dem zwölften Felsenedikte machen die letzten Worte in dem Satze (G) *devānaṃ piyo no tathā dānaṃ va pūjā va maṃñate yathā kiṃti sāravaḍhī asa sarvapāsaḍānaṃ bahakā ca* Schwierigkeiten. Kern (Jaart. S. 68) sah in *bahakā* (für *bahukā*) das Gegenteil des vorher erwähnten *lahukā*: *ātpapāsaṃḍapūjā va parapāsaṃḍagarahā va no bhave apakaraṇamhi lahukā va asa tamhi tamhi prakaraṇe*. Wie *lahukā* ein Substantiv = Sk. *lāghava* sein sollte, so sollte auch *bahukā* ein Substantiv = Sk. *bahumāna* sein; er übersetzte demgemäß: »dat Devānāmpriya niet zozeer hecht aan liefdegaven of eerbetoon, als daaraan, dat alle secten in goeden naam en innerlijk gehalte mogen toenemen en geëerbiedigd worden.« Senart schließt sich dieser Auffassung völlig an: »que le [roi] cher aux Devas attache moins d'importance à l'aumône et au culte extérieur qu'au vœu de voir régner les doctrines essentielles et le respect de toutes les sectes.« Bühler hat richtig erkannt, daß *lahukā* Adjektiv ist; er übersetzt (Beitr. S. 78): »Das Hochpreisen der eigenen Sekte oder das Schmähen fremder Sekten soll ohne Grund (gar) nicht vorkommen und, (wenn es) aus dem einen oder dem andern Grunde (gerechtfertigt ist), soll es mäßig sein.« Entsprechend faßt er auch *bahukā* als Adjektiv auf: »Der Göttergeliebte hält nicht soviel von Freigebigkeit und Ehrenbezeigung als wovon? (Davon) daß bei allen Sekten ein Wachsen des Kernes stattfinde, und (zwar) ein mächtiges.« Nun scheint es mir allerdings vollkommen sicher, daß *bahukā* nur Adjektiv sein kann; es läßt sich aber nicht leugnen, daß *bahukā ca*, in dem Bühlerschen Sinne genommen, ein stilistisch sehr auffälliger Zusatz ist. Dazu kommt, daß die beiden Worte im Anfang des Ediktes, wo der ganze Satz schon einmal gegeben ist, fehlen: *na tu tathā dānaṃ va pūjā va devānaṃ piyo maṃñate yathā kiti sāravaḍhī asa savapāsaṃḍānaṃ*. Ich bin daher überzeugt, daß auch an der zweiten Stelle der Satz mit *sarvapāsaḍānaṃ* schließt und daß *bahukā* zu dem folgenden Satze gehört, der dann lauten würde: *bahakā ca etāya athā*[1] *vyāpatā dhaṃmamahāmātā ca ithījhakhamahāmātā ca vacabhūmīkā ca añe ca nikāyā*, »und viele sind zu diesem Zwecke tätig, die Dharmamahāmātras und die Mahāmātras, die die Frauen beaufsichtigen, und die Vacabhūmikas und andere Kollegien.« Ähnlich heißt es S 7: *ete ca aṃne ca bahukā mukhā dānavisayasi viyāpaṭāse mama ceva devinaṃ ca*.

---

[1] Schreibfehler für *athāya*; siehe oben, 1913, S. 1018, Anm. 3.

In dem zweiten Satze des **dreizehnten Felsenediktes** liest Bühler in K *diyadhamāte pānaṣataṣahaśe yetaphā apavudhe śataṣahaṣamāte tata hate bahutāvaṃtake vā maṭe.* Für *yetaphā* steht in Sh *yetato.* Bühler, Beitr. S. 85, betrachtet *yetaphā* als eine sehr starke Korruption von *etamhā, etasmāt.* Sk. *etad* zeigt aber in keinem Dialekte der Inschriften jemals den Vorschlag eines *y*, und es kann daher keinem Zweifel unterliegen, daß *ye taphā* und *ye tato* zu lesen ist: »150000 Seelen waren es, die von dort fortgeschleppt wurden.«

Einen ähnlichen Fehler begeht Bühler in dem Satze *avijitaṃ hi vijinamane etatā vadhaṃ vā malane vā apavahe vā janaṣā* [.] *ṣe bādha vedaniyamute gulumute cā devānaṃ piyaṣā.* Für *etatā* bietet Sh *yetatra.* Natürlich ist, wie Senart schon gesehen hatte, *e tatā* und *ye tatra* zu lesen und der erste Satz als Relativsatz zu fassen[1].

Auch in einem dritten Satze dieses Ediktes ist meines Erachtens die Konstruktion bisher verkannt. Er lautet nach Bühler in K *yeṣaṃ vā pi ṣaṃvihitānaṃ ṣinehe avipahine etānaṃ mitaśaṃthutaṣahāyanātikya viyaṣane*[2] *pāpunāti* [.] *tata ṣe pi tānameva upaghāte hoti,* in Sh *yeṣ. va pi saṃvihitanaṃ neho avipra hino eteṣa mitrasaṃstutasahayañatika vasana prapunati* [.] *tatra taṃ pi teṣa vo apagratho bhoti,* in M *yeṣaṃ va pi saṃvi . . . . naṃ sinehe aviprahine eta . . mitrasaṃ . . .*[3]. Nach Senart und Bühler sind das zwei Sätze. Bühler übersetzt die Version von Sh: »Or misfortune befalls the friends, acquaintances, companions, and relatives of those who themselves are well protected, *but* whose affection is undiminished. Then even that misfortune becomes an injury just for those *unhurt ones.*« Man sieht aber keinen Grund, weshalb das Relativum hier durch das ungewöhnliche Pronomen *etad* anstatt durch *tad* aufgenommen sein sollte; es ist daher sicherlich auch hier *e* (= *yat*) *tānaṃ, e teṣa, e ta* . . zu lesen, so daß der ganze Satz im Sk. lauten würde: *yeṣāṃ vāpi saṃvihitānāṃ sneho 'viprahīno yat teṣāṃ mitrasaṃstutasahāyajñātayo vyasanaṃ prāpnuvanti tatra tad api teṣām evopaghāto bhavati,* »oder wenn die Freunde, Bekannten, Genossen und Verwandten von denen, die (selbst) wohl aufgehoben große Zuneigung fühlen, bei einer solchen (Gelegenheit) Unglück erleiden, so ist auch das für eben diese eine Schädigung.«

Der Satz, der die Begründung der milden Maßregeln gegen die Waldbewohner enthält, lautet in Sh: *icchati hi devanaṃ priyo savrabhutana achati saṃyamaṃ samacariyaṃ rabhasiye.* Bühler übersetzt (Beitr. S. 196f.): »Denn der Göttergeliebte wünscht für alle Wesen Schonung, Selbstbeherrschung, Gerechtigkeit (und) Freudigkeit«, indem er *rabhasiye*

[1] Siehe die Übersetzung oben 1913, S. 1013.
[2] Nach der Phototypie wäre auch die Lesung *viyaṣanaṃ* möglich.
[3] In G sind die in Betracht kommenden Worte nicht erhalten.

= Sk. *rābhasyam* setzt, das nach Ujjvaladatta zu Uṇādisūtra III, 117 *harṣasya bhāvaḥ* bedeuten kann[1]. Anstatt *rabhasiye* hat K *madava ti*, G *mādavaṃ ca*, »Milde«; in M fehlt das Wort. Nun kann natürlich *rabhasiye* nicht ein Synonym von *mārdavam* sein; aber die »Freudigkeit« paßt auch nicht in den Zusammenhang. *Achati*, *saṃyamaṃ*, *samacariyaṃ* bezeichnen sämtlich, ebenso wie *mādavaṃ*, die Gefühle, die die königlichen Beamten gegen die Untertanen hegen sollen; unmöglich kann mit diesen die »Freudigkeit« zusammengestellt werden, die doch nur die Stimmung der Untertanen bezeichnen könnte[2]. Dazu kommt eine grammatische Schwierigkeit. *Rabhasiye* müßte Akk. Sing. eines Neutrums sein. Eine solche Form auf *-e* war aber dem nordöstlichen Dialekte sicherlich fremd, und ihr Gebrauch wäre um so unbegreiflicher, als das Wort offenbar nicht aus der Vorlage in Ardhamāgadhī übernommen ist, sondern von dem Übersetzer selbst herrührt. Mir scheint daraus hervorzugehen, daß *rabhasiye* nicht Akkusativ, sondern Lokativ ist, der zu *samacariyaṃ* gehört, und daß *rabhasiya* der Grundbedeutung von *rabhas* gemäß Gewalttätigkeit bedeutet: »denn der Göttergeliebte wünscht Nichtverletzung aller Wesen, Selbstbeherrschung und Unparteilichkeit bei (Fällen von) Gewalttätigkeit.«

In dem siebenten Säulenedikte beschreibt der König seine Wohlfahrtseinrichtungen wie folgt: *magesu pi me nigohāni lopāpitāni chāyopagāni hosaṃti pasumunisānaṃ aṃbāvaḍikyā lopāpitā aḍhakosikyāni pi me udupānāni khānāpāpitāni niṃsiḍhiyā ca kālāpitā āpānāni me bahukāni tata tata kālāpitāni paṭibhogāye pasumunisānaṃ.* Nachdem Fleet (JRAS. 1906, S. 401 ff.) in überzeugender Weise gezeigt hat, daß *aḍhakosikyāni* nicht »einen halben Krośa voneinander entfernt«, sondern »in Abständen von acht Krośas« bedeutet, enthält die Stelle nur noch ein unklares Wort: *niṃsiḍhiyā*. Bühler, Beitr. S. 280, meinte, es stünde für *nisiḍhiyā* wie Pali *mahiṃsa* für *mahisa* und entspräche dem Worte *niṣidiyā*, »Wohnung«, das sich in dem Kompositum *vāsaniṣidiyā* in Daṣalathas Inschriften findet. Beide Wörter sind seiner Ansicht nach Vertreter des Sk. *niṣadyā*, »Sitz«, »Markthalle«, aber aus dem Präsensstamm statt aus der Wurzel gebildet. Diese Etymologie befriedigt aber keineswegs, denn abgesehen von der auffallenden Nasalierung in der ersten Silbe, bleibt die Zerebralisierung und vor allem die Aspiration des *d* der Wurzel völlig unerklärt; hier Einfluß des vorausgehenden ursprüng-

---

[1] *rabhaso vegaharṣayoḥ | tasya bhāvo rābhasyam.* In der von Bühler angeführten Stelle Kirtik. 9, 3 kommt man mit der Bedeutung *vega* völlig aus.

[2] In der englischen Übersetzung (Ep. Ind. II, S. 471) ist das klare Verhältnis durch die unrichtige Übersetzung von *achati* noch mehr verwischt: »for the Beloved of the gods desires for all beings freedom from injury, self-restraint, impartiality and joyfulness«.

lichen *ṣ* anzunehmen, wie Bühler es tut, erscheint mir unmöglich. Aber auch die Bedeutung, die Bühler dem Worte zuschreibt, ist keineswegs gesichert. In den Inschriften des Daṣalatha bedeutet *vāṣaniṣidiyā* natürlich »Wohnung während der Regenzeit«; hier soll nach Bühler *niṃsiḍhiyā* ein Terminus für die öffentlichen Herbergen oder Serais sein, die sich an allen Straßen finden und häufig von wohltätigen Leuten *dharmārtham* errichtet werden.

Die richtige Erklärung des Wortes verdanke ich Hrn. Helmer Smith, mit dem ich vor Jahren die Aśoka-Inschriften las. Er führte das Wort auf **niśliṣṭi* zurück und verwies auf die analogen Bildungen, die Pischel, Grammatik der Prakrit-Sprachen § 66, aus der Ardhamāgadhī anführt: *seḍhi, seḍhīya, aṇuseḍhi, paseḍhi, viseḍhi*. So erklärt sich die Nasalierung ohne jede Schwierigkeit. Sie tritt nach Pischel § 74 sehr häufig vor Verbindungen von Konsonanten ein, von denen der eine ein Zischlaut ist; genau entsprechende Beispiele sind M. *aṃsu* = Sk. *aśru*; AMg. *maṃsu* = Sk. *śmaśru*; AMg. M. *taṃsa* = Sk. *tryasra*. Die Erweichung des *ṭṭh* zu *ḍḍh* ist genau die gleiche wie in *aḍhakosikyāni* aus Sk. **aṣṭakrośikāni* und entspricht der des *ṭṭ* zu *ḍḍ* in *aṃbāvaḍikyā*[1] aus Sk. **āmravārtikāḥ*. Was die Bedeutung betrifft, so ist zu beachten, daß, wie Pischel a. a. O. bemerkt, AMg. *seḍhi* von den Kommentatoren durchweg mit *śreṇi* erklärt wird. *Niṃsiḍhiyā* entspricht so einem Sk. *niśrayaṇī, niśreṇī*[2], das seit dem Śatapathabrāhmaṇa in der Bedeutung »Leiter«, »Treppe« belegt ist. Das Wort paßt vortrefflich in den Zusammenhang. Aśoka hat alle acht *krośas* entweder Brunnen (*udupānas*) graben lassen, oder da, wo die Straße an einem Flusse entlang oder über ein Gewässer führte, Treppen, die zum Wasser hinabführten, bauen lassen. Daß das der Sinn der Worte ist, beweist das *ca*, durch das die beiden Sätze *aḍhakosikyāni pi me udupānāni khānāpāpitāni* und *niṃsiḍhiyā kālāpitā* zur Einheit verbunden werden. Das Richtige hat übrigens Kern schon vor mehr als 30 Jahren gesehen; in seinem Buddhismus, Bd. II, S. 385, sagt er in der Analyse des Ediktes, der König hätte »alle halbe Kos voneinander Brunnen graben und Treppen (um zu dem Wasser hinunterzusteigen) machen lassen«.

In demselben Edikte wird von den Almoseniers des Königs gesagt: *savasi ca me olodhanasi te bahuvidhena ā[kā]lena tāni tāni tuṭhāyatanāni paṭi[pādayaṃti] hida ceva disāsu ca*[3]. Kern bemerkt in seiner Analyse des Ediktes, a. a. O. S. 386, der König sage, sowohl die Auf-

[1] Auch in dem Edikt der Königin, I. A. XIX, S. 126.

[2] Falsche Schreibungen sind *niḥśrayaṇī, niḥśrayiṇī, niḥśreyaṇī, niḥśreṇi, niḥśreṇī*.

[3] Die Ergänzungen rühren von Senart her. Statt *paṭi[pādayaṃti]* wäre auch *paṭi[vedayaṃti]* möglich, das F VI belegt ist.

seher als andere Personen wären mit der Austeilung von Liebesgaben beauftragt, in der Weise, daß sie sowohl dem Könige als auch seinen Gemahlinnen jede günstige Gelegenheit zu melden hätten, Wohltätigkeit, sei es in der Hauptstadt oder in der Provinz, zu üben. Im Anschluß daran übersetzt Bühler: »Und in meinem ganzen Harem [lehren] sie in dieser und jener Weise verschiedene Wege zur Befriedigung[1] sowohl hier (in Pāṭaliputra) als in der Ferne.« *Tuṭhāyatanāni* soll Sk. *tuṣṭyāyatanāni* sein, »Wege oder Mittel zur Befriedigung«, »günstige Gelegenheiten zur Wohltätigkeit«, welche dem Geber und dem Empfänger Befriedigung verursachen (Beitr. S. 281). Allein *āyatana* kann doch unmöglich »Weg oder Mittel«, »Gelegenheit«, »source« bedeuten. Es ist »Standort«, »Stätte«, übertragen »der Gegenstand, auf den sich etwas bezieht«[2]. Für das erste Wort des Kompositums verweise ich auf Mallinātha zu Kirātārj. 1, 26. Hier heißt es, daß der Spion *āttasatkriya*, nachdem er seine Belohnung empfangen hatte, fortging. Mallinātha erklärt *āttasatkriya* durch *gṛhītapāritoṣika* und führt zur Erläuterung eine Stelle aus dem Nītivākyāmṛta an: *tuṣṭidānam eva cārāṇāṃ hi vetanam | te hi tallobhāt svāmikāryeṣv atīva tvarayante*, »denn der Lohn der Spione ist die Verleihung eines (gelegentlichen) Gnadengeschenkes. Denn diese sind aus Verlangen danach in den Angelegenheiten der Könige eifrig«. Ebenso sind sicher auch unter den *tuṭhāyatanāni* die »Gegenstände der Belohnung« zu verstehen, d. h. die Personen, die würdig sind, gelegentlich Gnadengeschenke zu empfangen.

Aber auch formell bedarf Bühlers Erklärung noch der Berichtigung. Ein sicheres Beispiel für die Behandlung der Verbindung *ṣṭy* in dem Dialekte der Säulenedikte fehlt allerdings; da aber sonst in den Verbindungen eines Konsonanten mit *y* meist ein *i* eingeschoben wird, sollten wir als Fortsetzer eines *tuṣṭyāyatana* eher *tuṭhiyāyatana* als *tuṭhāyatana* erwarten. Ich möchte daher *tuṭhāyatana* lieber auf *tuṣṭāyatana* zurückführen und in *tuṣṭa* ein Äquivalent für Sk. *tuṣṭi* sehen, so wie in den Edikten *nivuṭa* für Sk. *nirvṛtti*, *ladha* für Sk. *labdhi* gebraucht wird[3]. Vielleicht findet sich *tuṣṭa* in genau derselben Bedeutung wie in unserer Stelle auch im Kauṭilīyaśāstra. Als Dinge, die der als Asket verkleidete Spion, um sein Ansehen zu heben, prophezeien soll, werden dort (S. 19) aufgezählt: *alpalābham agnidāhaṃ corabhayaṃ dūṣyavadhaṃ tuṣṭadānaṃ videśapravṛttijñānam idam adya śvo vā bhaviṣyatīdaṃ vā rājā kariṣyatīti.* Nach dem ganzen Zusammenhange

---

[1] In der englischen Übersetzung: »they [point out] in various ways the manifold sources of contentment.«

[2] Vgl. *hāsyāyatana*, »Gegenstand des Gelächters«, im kleineren PW.

[3] Siehe oben S. 847f.

kann *tuṣṭadānam* hier kaum »das Geben an die Zufriedenen«[1] bedeuten, sondern muß dasselbe bezeichnen wie das *tuṣṭidānam* in der aus dem Nitivākyāmṛta angeführten Stelle.

Der Abschnitt über die Gabenverteilung schließt: *dālakānaṃ pi ca me kaṭe aṃnānaṃ ca devikumālānaṃ ime dānavisagesu viyāpaṭā ho-haṃti ti dhaṃmāpadānaṭhāye dhaṃmānupaṭipatiye esa hi dhaṃmāpadāne dhaṃmapaṭīpati ca yā iyaṃ dayā dāne sace socave madave sādhave ca lokasa hevaṃ vaḍhisati ti.* Bühler hat die Konstruktion des letzten Satzes durchaus mißverstanden, wenn er übersetzt: »Denn das sind edle Taten nach dem Gesetze und das ist der Gehorsam gegen das Gesetz, wodurch Barmherzigkeit, Freigebigkeit, Wahrhaftigkeit, Reinheit, Sanftmut und Heiligkeit so unter den Menschen wachsen.« *Hevaṃ*, »so«, soll bedeuten »in der vom Könige gewünschten Weise«. Die Wörter *yā iyaṃ* bis *sādhave ca* sind aber natürlich nur die genauere Ausführung des vorausgehenden *dhaṃmāpadāne dhaṃmapaṭīpati ca*, und *hevaṃ* bezieht sich auf die vorhergenannten Anordnungen des Königs, wie Senart schon richtig gesehen hatte. Es ist also zu übersetzen: »Denn so wird dies Gesetzesheldentum und diese Gesetzeserfüllung, nämlich Barmherzigkeit usw., in der Welt wachsen.«

Zu den schwierigsten Edikten gehört das erste Separatedikt von Dhauli und Jaugada. Mir scheint, daß es in wesentlichen Punkten bisher nicht richtig verstanden ist, und wenn ich auch einige Stellen nicht zu erklären vermag[2], so glaube ich doch an andern eine befriedigendere Übersetzung bieten zu können als meine Vorgänger. Das

---

[1] An anderen Stellen kommt *tuṣṭa* auch als Adjektiv in der Bedeutung »zufrieden« (Mahābh. zu Pāṇ. 3, 2, 188) im Kauṭilīya vor; z. B. S. 23: *teṣāṃ muṇḍajaṭilavyañjanās tuṣṭātuṣṭatvaṃ vidyuḥ | tuṣṭān bhūyaḥ pūjayet | atuṣṭāṃs* (Ausg. *atuṣṭāt*) *tuṣṭihetos tyāgena sāmnā ca prasādayet.*

[2] Dahin gehört zum Beispiel der Satz *duāhale hi imasa* (J *etasa*) *kaṃmasa me* (J *sa me*) *kute manenatileke.* Daß Senarts und Bühlers Erklärungen nicht befriedigen, hat schon Franke, GN. 1895, S. 537 f., bemerkt, aber was er selbst vorschlägt, ist unhaltbar. *Duāhale* soll nach ihm »schlecht vollbringend« bedeuten, da *āhara* nach dem PW. im Mbh. »Zustandebringung«, »Vollbringung« heiße. Im PW. steht aber unter *āhara*: Zustandebringung, Vollbringung (eines Opfers): *rājasūyo durāharaḥ* Mbh. 2, 664. Es liegt also auch hier nur eine Ableitung von *āhṛ* in der ganz gewöhnlichen Bedeutung »(ein Opfer) darbringen« vor, die mit der von Franke postulierten gar nichts zu tun hat. Weiter aber soll *duāhale* Lok. Sing. sein: »Denn woher sollte mir eine Vorliebe (*maneatileke*) kommen für einen, der diese Aufgabe schlecht ausführt?« Es gibt aber keinen Lokativ auf *-e* in dem östlichen Dialekt, wie schon Senart in seinen Noten gerade an dieser Stelle gegenüber einer Erklärung Kerns bemerkt hatte. Recht hat Franke sicherlich, wenn er bestreitet, daß *kute* aus Sk. *kṛtaḥ* entstanden sein könne. In einigen Fällen hat Bühler seltsamerweise die zweifellos richtigen Erklärungen seiner Vorgänger ignoriert. Die Formen *paṭivedayehaṃ*, *ālabhehaṃ* usw. waren zum Beispiel schon von Kern als 1. Sing. Opt. erkannt, und die Konstruktion der mit *aṃ kichi dakhāmi hakaṃ* und *athā pajāye ichāmi hakaṃ* beginnenden Sätze war längst von Senart richtig erklärt worden.

Edikt ist an die *mahāmātā nagalaviyohālakā* von Tosalī und Samāpā gerichtet. Diese *nagalaviyohālakas* sind sicherlich dieselben Beamten wie die *pauravyāvahārikas*, die Kauṭilīyaśāstra, S. 20, erwähnt werden. Nach Senart und Bühler sind es Magistratsbeamte; Senart übersetzt (I. A. XIX, S. 95) »the officers in charge of the administration of the city«, Bühler (Buddh. Stupas, S. 129) »the officials, the administrators of the town«. Aber Kern (Jaartell. S. 104; JRAS. NS. XII, S. 390) versteht darunter Richter, »the magistrates who are entrusted with the administration of justice in the city«. Ich habe schon oben, 1913, S. 1017, bemerkt, daß *viyohāla* in S 4 »Gerichtsverfahren« bedeute, und daß daher auch *nagalaviyohālaka* nur die »Stadtrichter« sein könnten. Dazu stimmt auch der Inhalt des Ediktes, dessen einziger Zweck ist, väterliche Milde gegen alle zu empfehlen, die sich irgendwie gegen das Gesetz vergangen haben. Sollten also die Nagalaviyohālakas neben ihren richterlichen Funktionen noch eine administrative Tätigkeit ausgeübt haben, so ist in dem Edikte jedenfalls nicht davon die Rede.

Den Satz *tuphe* (J *phe*) *hi bahūsu pānasahasesu āyatā pana* . . (J *āyata panayaṃ*) *gachema sumunisānaṃ* übersetzt Senart: »for ye have been set over many thousands of souls, that ye may gain the attachment of good men«, Bühler: »for you dwell *as rulers* among many thousands of creatures, *desiring*, 'May we gain the affection of *all* good men'«. Die Stelle ist meines Erachtens entscheidend für die Bedeutung von *āyata*, das in ähnlichen Verbindungen in S 4 (*lajūkā me bahūsu pānasatasahasesu janasi āyatā*) und S 7 ([*me pul*]*isā pi bahune janasi āyatā; lajūkā pi bahukesu pānasatasahasesu āyatā*) wiederkehrt. Bühler, Beitr. S. 136, hat sicherlich Recht, wenn er sagt, daß das Partizipium hier aktive, nicht passive Bedeutung haben müsse, da sonst statt *gachema* die zweite Person Pluralis stehen müsse[1]. Es kann ferner keinem Zweifel unterliegen, daß *āyata*, wie schon Burnouf und Lassen annahmen, Vertreter von Sk. *āyatta* ist. Bühler meint daher, daß *āyata*, zunächst »wohnend unter«, »sich befindend bei«, die Bedeutung »hochgestellt unter«, »(als Herren) wohnend unter« angenommen habe. Mir scheint indessen dieser Bedeutungsübergang für das Wort ganz unwahrscheinlich, da man nicht einsieht, wie der Begriff des Hochgestellten hineingekommen sein sollte. Nun heißt aber *yat* mit dem Lokativ im Sk. ganz gewöhnlich »bedacht sein auf«, »sorgen für«[2]; *atyāyat* ist nach dem PW. im Daśak. in der Bedeutung »sich sehr bemühen um (Lok.)«, »sehr bedacht sein auf« belegt. Danach können doch auch die oben angeführten Verbindungen kaum etwas anderes

[1] Senart hat in seiner Übersetzung daher auch die zweite Person für die erste eingesetzt.

[2] Auch das Partizip *yatta* ist in dieser Bedeutung häufig.

heißen als »für viele 1000 Seelen, für viel Volk, für viele 100000 Seelen sorgend[1]«, und dieser Ausdruck paßt auch vortrefflich auf die Nagalaviyohālakas wie die Lajjūkas, deren Aufgabe es ist, für die richtige Handhabung des Rechtes und die Ausbreitung des Dharma unter den Provinzbewohnern zu sorgen.

In dem zweiten Satz fällt der Ausdruck *sumunisānaṃ* um so mehr auf, als der König unmittelbar darauf ausdrücklich sagt *save munise pajā mamā* (Dh), »alle Menschen sind meine Kinder«, und *hemeva me icha savamunisesu* (J), »ebenso ist mein Wunsch in bezug auf alle Menschen«. Ich bin überzeugt, daß *sumunisānaṃ* in *su* und *munisānaṃ* zu zerlegen ist, und daß *su* hier Sk. *svid* vertritt wie in Sep. II *kiṃchaṃde su lājā aphesū ti.* Der Satz würde also, vorausgesetzt, daß die Lesung *panayaṃ* richtig ist[2], wörtlich zu übersetzen sein: »Denn ihr habt für viele Tausende von Seelen zu sorgen, (indem ihr euch fragt:) ‚Ob wir wohl die Zuneigung der Menschen erwerben?'«.

Am weitesten auseinander gehen die Deutungen in dem Abschnitt, der nach Bühler lautet: Dh *no ca pāpunātha āvāgamake iyaṃ aṭhe*[3] [.] *kecha va ekapulise .. nāti*[4] *etaṃ se pi desaṃ no savaṃ* [.] *dekhata*[5] *hi tuphe etaṃ suvihitā pi niti* [.] *iyaṃ ekapulise pi athi ye baṃdhanaṃ vā palikilesaṃ vā pāpunāti* [.] *tata hoti*[6] *akasmā tena baṃdhanaṃtika aṃne ca . . . . bahujane*[7] *daviye dukhīyati*[8] [.] *tata ichitaviye tuphehi kiṃti majhaṃ paṭipādayemā ti*; J *no ca tuphe etaṃ*[9] *pāpunātha āvāgamake*[10] *iyaṃ aṭhe*[11] [.] *kecā ekapulise pi manāti*[12] *se pi desaṃ no*[13] *savaṃ* [.] *dakhatha hi tuphe hisuvitā*[14] *pi bahuka*[15] [.] *athi*[16] *ye eti*[17] *ekamunise baṃdhanaṃ palikilesaṃ hi*[18] *pāpunāti* [.] *tata hoti*[19] *akasmā tena baṃdhanaṃtika*[20] *. . . . ca vage bahuke vedayati*[21] [.] *tata tuphehi ichitaye*[22] *kiṃti majhaṃ paṭipātayema.*

Senart läßt den ersten Satz mit *āvāgamake* schließen und verbessert *aṭhe*, oder *atha*, *aṭha*, wie er liest, zu *athi*, weil er einen Parallelismus zwischen dem Satz *iyaṃ athi kecha va ekapulise manāti etaṃ* und dem folgenden Satz *iyaṃ ekapulise pi athi ye baṃdhanaṃ vā palikilesaṃ vā pāpunāti* zu erkennen glaubt. So kommt er zu der Übersetzung: »Now, in this matter, ye have not attained to all the results which are

---

[1] Danach ist meine Übersetzung, oben 1913, S. 1027, zu berichtigen.

[2] Ich bin dessen aber trotz der Versicherung Senarts (a. a. O. S. 86) keineswegs sicher; die Lesung *pi nayaṃ yachema su munisānaṃ* würde z. B. einen viel besseren Sinn ergeben, doch läßt sich die Frage ohne die Benutzung eines Abklatsches natürlich nicht entscheiden.

[3] Senart *atha*. [4] S. *manāti*. [5] S. *dekhata*. [6] S. *hota*.
[7] S. .. *hujane*. [8] S. *dukhiyati*. [9] S. *no-etaṃ* fehlt. [10] S. *āvagamake*.
[11] S. *aṭha*. [12] S. *manati*. [13] S. *ne*. [14] S. *pisuvitā*.
[15] S. *bahuke*. [16] S. *aṭhi*. [17] Lies *eta*. [18] Mit S. *pi* zu lesen.
[19] S. .. *ta*. [20] S. nur *baṃdha* .. [21] S. *vedayaṃti*.
[22] S. .*chitaye*; lies *ichitaviye*.

obtainable.« Ich nehme zunächst an der Änderung zu *athi* Anstoß, weil sie die Annahme eines Fehlers in beiden Versionen voraussetzt. Aber auch der so zustande kommende Satz *iyaṃ athi kecha va ekapulise manāti etaṃ* ist nicht richtig; der angebliche Parallelsatz zeigt, daß vor dem *manāti* dann noch ein *ye* stehen müßte.

BÜHLER übersetzt: »But yo do not understand *all* that the sense *of these words* implies.« Er bringt *pāpunātha* mit dem *pāpunevu, pāpuneyu* zusammen, das dreimal in Sep. II vorkommt, und er hat damit sicherlich das Richtige getroffen. Nur glaube ich, daß die Bedeutung von *pāpunāti* nicht »verstehen, einsehen«, sondern »vernehmen, erfahren« ist. Nicht nur läßt sich die letztere Bedeutung aus der Grundbedeutung des Wortes leichter herleiten, sie paßt auch in Sep. II besser in den Zusammenhang. Dort sagt der König, sein Wunsch in bezug auf die Grenzvölker sei: (J) *pāpuneyu lājā hevaṃ ichati anuvigina heyu* usw. Da das Edikt nicht an die Grenzvölker selbst gerichtet ist, sondern Anweisungen an die Beamten über die Grenzvölker enthält, so liegt es nahe, zu übersetzen: »sie sollen erfahren, daß der Wunsch des Königs ist, daß sie unbesorgt seien« usw.[1]. Auch die Bedeutung von *āvāgamaka* ist danach etwas zu modifizieren. BÜHLER stellt *gamaka* zum Kausativ *gamayati*, wogegen sich selbstverständlich an und für sich nichts einwenden läßt. Ebensogut kann aber doch *ka* hier das Svārthikasuffix sein, das an *āvāgama* angefügt ist; dann würde *āvāgamaka* »wie weit gehend«, d. h. »wie weit Anwendung findend«, »wie weit befolgt« sein. Daß *iyaṃ athe* sich wie *etasi aṭhasi* im Vorhergehenden auf den Wunsch des Königs bezieht, alle Untertanen wie seine Kinder behandelt zu sehen, hat schon BÜHLER bemerkt. Der Satz würde also zu übersetzen sein: »Und ihr erfahrt (J fügt hinzu: dies) nicht, wie weit diese Sache befolgt wird«. Um den Sinn des Satzes zu verstehen, müssen wir uns klarmachen, welche Stellung die Nagalaviyohālakas einnehmen. Es heißt nachher, daß sie Sorge tragen sollen, daß die Städter nicht grundloser *palibodha* oder grundloser *palikilesa* treffe. Daß *palibodha* Fesselung bedeutet, glaube ich oben gezeigt zu haben; die Bedeutung von *palikilesa* steht nicht fest. SENART gibt es durch »torture« wieder«, BÜHLER faßt es (Beitr. S. 137f.) als »Unbill, Scherereien, Bedrückung« auf. Daß das nicht richtig sein kann, zeigt die Spezialisierung durch *akasmā*; Bedrückung würde stets *akasmā* sein. Die Zusammenstellung von *palikilesa* mit *baṃdhana* (*baṃdhanaṃ vā palikilesaṃ vā* Dh) in Sep. I beweist vielmehr, daß *palikilesa* eine Strafe war, die von einer staatlich anerkannten Autorität verhängt wurde. Ich halte daher die Auffassung SENARTS für richtig. Wenn die

[1] Ähnlich an den beiden andern Stellen.

Nagalaviyohālakas ungerechte Fesselung und Tortur verhindern sollen, so können sie nur höhere Beamte gewesen sein, die die Verfügungen und Entscheidungen der niederen Gerichtshöfe zu revidieren hatten. Sie sind also ganz ähnliche Beamte wie die Lajjūkas, was schon daraus hervorgeht, daß sie das Beiwort *bahūsu pāna(sata)sahasesu āyatā* mit jenen teilen. Nur die Bezirke der beiden sind verschieden. Die Nagalaviyohālakas üben die oberste Gerichtsbarkeit in der Stadt aus, die Lajjūkas in der Provinz. Natürlich ist daher auch der Wirkungskreis der Nagalaviyohālakas beschränkter; sie haben für viele tausend, die Lajjūkas für viele hunderttausend Seelen zu sorgen. Ich verstehe daher den Satz dahin, daß der König den Nagalaviyohālakas den Vorwurf macht, sie ermittelten nicht, wie weit seine humanen Absichten von den niederen Gerichtshöfen bei ihren Entscheidungen befolgt würden.

Senart fährt fort: »There is such and such an individual who attendeth to such and such of my orders, but not to all. Watch ye him, and may the moral duties be well defined.« Für unmöglich halte ich hier die Übersetzung von *desaṃ*. Ganz abgesehen davon, daß man nicht einsieht, was mit »diesem Befehl«[1] gemeint sein kann, da von einem Befehl bisher gar keine Rede gewesen ist, könnte der Senartsche Sinn im Texte doch nur durch die Worte *etaṃ desaṃ se pi no savaṃ* ausgedrückt sein. Unverständlich ist mir auch, wie *dekhata, dakhatha* zu der Bedeutung »überwachen« kommen sollte. Das *hi* hinter *dekhata* wird außerdem ganz außer acht gelassen. Zu *suvihitā pi niti* wird ein *siyā* im Sinne von »es möge sein« ergänzt, was mir wiederum nahezu unmöglich erscheint. Die Lesung von J wird als unverständlich bezeichnet. Für den, der die oben vorgetragene Auffassung des vorausgehenden Satzes für richtig hält, ist schließlich die ganze Übersetzung der Stelle schon deshalb unannehmbar, weil jeder Gedankenzusammenhang fehlen würde. Bühler übersetzt: »Some single *private* individual understands it, at least a portion, if not the whole. Look then to this *meaning of my words*; the maxims of *good* government, too, are well determined *and teach the same lesson.*« Richtig ist hier sicherlich die Wiedergabe von *desaṃ* durch Teil; in demselben Sinne steht das Wort in F V *e heta desaṃ pi hāpayisati se dukaṭaṃ kachati* (Dh). Im übrigen kann ich aber auch der Auffassung Bühlers nicht beistimmen. Nach Bühler soll der mit *kecha va* beginnende Satz ein parenthetischer Zusatz sein; der König wolle sagen, daß ein Privatmann mit seinem beschränkten Untertanenverstande dies mitunter, wenn nicht ganz, doch teilweise einsehe, also klüger sei als

[1] Denn das ist doch die wörtliche Übersetzung.

die regierenden Herren. Ich muß gestehen, daß mir eine solche Äußerung von vornherein recht unwahrscheinlich dünkt; was gehen denn den Privatmann die Instruktionen des Königs an seine Beamten an? Auch der Sinn des folgenden kann nicht richtig wiedergegeben sein. Für den Gebrauch von *hi* im Sinne von »doch«, »then«, fehlt jeder Anhaltspunkt in der Sprache der Edikte, und daß sich der König zu seiner Rechtfertigung auf die Nīti berufen sollte, die eher im Gegensatz zu seinem Dharma steht, ist mir wiederum äußerst unwahrscheinlich. Dazu kommt, daß der Hauptgedanke, daß die Nīti mit des Königs Ansichten übereinstimme, erst von Bühler in den Satz hineininterpretiert wird und im Texte selbst mit keinem Worte angedeutet ist. Der Grundfehler Bühlers wie Senarts liegt aber meines Erachtens in der Deutung von *ekapulise* als »Privatmann«. *Pulisa* bedeutet in den Edikten niemals »Mensch« — das ist *munisa* —, sondern stets »Beamter« im allgemeinsten Sinne: S 1 *pulisā pi ca me ukasā cā gevayā cā majhimā cā*; S 4 *pulisāni pi me chaṃdaṃnāni paṭicalisaṃti*; S 7 [*pul*]*isā pi bahune janasi āyatā*. Es kann daher auch *ekapulise* hier nur bedeuten »ein einzelner Beamter«. Von dem auf *ekapulise* folgenden Worte ist in Dh nur *nāti* zu erkennen; in J ist *p . . . nāti* sicher. Man sollte nach dem ganzen Zusammenhang *pāpunāti* erwarten; sollte diese Lesung nach dem Abklatsch wirklich unmöglich sein, so würde ich immer noch eher in Dh *jānāti*, in J *pi jānāti* lesen als das formell wie der Bedeutung nach ganz unwahrscheinliche *manāti*. Der Sinn würde in beiden Fällen der gleiche sein, da natürlich auch *pāpunāti* dieselbe Bedeutung haben müßte wie das unmittelbar vorhergehende *pāpunātha*: »Ein einzelner Beamter erfährt davon, aber auch der nur einen Teil, nicht alles.« Der *ekapulisa* ist natürlich in diesem Falle ein einzelner von den Nagalaviyohālakas.

Daß der folgende Satz die Begründung dieses Satzes bringt, scheint mir mit Sicherheit aus dem *hi* hervorzugehen. Die Wörter *suvihitā pi niti* in Dh können nur ein abhängiger Fragesatz sein, hinter dem das *ti* wie so häufig fehlt. Aus dem ganzen Zusammenhang geht ferner hervor, daß die *nīti* hier nicht, wie Bühler meint, die *rājanīti*, sondern die *daṇḍanīti* ist. Setzen wir nun zunächst einmal in Dh für *dekhata* das *dakhatha* von J ein, so ergibt sich der Sinn: »Denn ihr richtet euer Augenmerk (nur) darauf: Ist auch das Strafrecht wohl angewendet?« In dem Texte von J ist sicherlich eine Änderung nötig. Man muß entweder mit Senart und Bühler die *akṣaras hi* und *su* umstellen oder das *hi* streichen. Für den Sinn bleibt es sich ziemlich gleich, ob man *suvihitā* oder *suvitā* liest: »Denn ihr richtet euer Augenmerk (nur darauf): Ist auch die große Menge wohl aufgehoben? (*oder* Geht es auch der großen Menge gut?)« In Dh wird also der Mangel

an Interesse an der Durchführung der humanen Bestrebungen des Königs damit begründet, daß die Nagalaviyohālakas als Berufsrichter stets geneigt sind, nur die rein juristischen Fragen zu prüfen; in J wird ihnen vorgeworfen, daß sie sich um das Schicksal des einzelnen überhaupt zu wenig kümmern.

Formell bereitet das *dekhata* von Dh Schwierigkeiten. Es kann nicht mit dem *dakhatha* von J auf gleicher Stufe stehen, da dann die Endung *-ta* unerklärlich sein würde. Daß es 2. Plur. Imperat. sein sollte, ist meines Erachtens durch den Sinn ausgeschlossen. Auch ist es ganz unwahrscheinlich, daß die Form noch die alte Endung *-ta* bewahrt haben sollte, da diese weder im Pali noch in irgendeinem andern Prakritdialekte erscheint und in S 7 und in der Sahasrām-Inschrift überdies die Imperativformen *paliyovadātha* und *likhāpayatha* (*-yāthā*) vorliegen. Ebensowenig kann *dekhata* 3. Sing. Imperf. Pass. sein; auch für diese Form wäre nach dem Pali die Endung *-tha* zu erwarten und die Edikte selbst bieten die Formen *vaḍhithā* (S 7), *huthā* (S 7), *nikhamiṭhā* (F VIII K). Außerdem müßte nach Analogie von *ālabhiyisu, ālabhiyaṃti, ālabhiyisaṃti* (F I Dh J K), *khādiyati* (S 5), *nīlakhiyati* (S 5) der Passivcharakter als *iy* erscheinen, und schließlich würde das Präteritum auch dem Sinne nach nicht recht passen. Ich glaube daher, daß *dekhata* oder *dekhate*, wie Senart liest, überhaupt kein Verbum finitum, sondern eine Nominalbildung ist, wie die vedischen Formen *darśata, paśyata, yajata* usw.[1], die entweder passivische oder gerundive Bedeutung haben. Diese Erklärung paßt auch für *dekhata* in Dh Z. 14. Allerdings zwingt sie zu der Annahme, daß in unserer Stelle *tuphe* den Gen. oder Instr. vertritt[2] oder, was mir wahrscheinlicher ist, daß *tuphe* Schreibfehler für *tuphehi* ist[3]. Die genauere Übersetzung von Dh würde also lauten: »Denn von euch wird (nur) dies untersucht: Ist auch das Strafrecht wohl angewendet?«

Auch in der Erklärung der folgenden Sätze kann ich weder Senart noch Bühler beipflichten. Senart übersetzt: »There is such and such an individual who is sentenced to prison or to torture. Be ye there to put an end to an imprisonment, if it hath been ordered for no sufficient cause. Again, there are many people who suffer

[1] Whitney, Sanskrit Grammar § 1176 e.

[2] Unmöglich wäre das nicht, da Dh *tuphe* nicht nur als Nom., sondern auch als Akk. verwendet, während in J der Akk. *tupheni* lautet.

[3] So würde sich auch der merkwürdige Wechsel im Stammvokal erklären. Allerdings finden sich in S 3 die Präsensformen *dekhati, dekhaṃti*; in den Separatedikten steht aber in Dh wie in J zweimal *dakhāmi*, und es wäre doch seltsam, wenn in ein und derselben Inschrift der Präsensstamm bald *dakha-*, bald *dekha-* lauten sollte.

(Dh acts of violence). In their case also, must ye desire to set every one on the Good Way.« Senart liest *hota* anstatt *hoti*; das *ti* ist aber in Dh ganz deutlich. Außerdem müßte die 2. Plur. in J jedenfalls *hotha* lauten. Ganz unstatthaft erscheint mir weiter die Änderung des in beiden Versionen dastehenden *akasmā tena* zu *akasmātana*. *Daviye* in Dh soll falsche Lesung oder Synonym von *davāye* sein; mir erscheint beides ebenso unwahrscheinlich wie die Bedeutung »Gewalttat«, die Senart für das Wort annimmt. Am allerwenigsten befriedigt die Erklärung des letzten Satzes. *Majhaṃ* soll Nom. Plur. des Pronomens der ersten Person sein. Eine solche Form kommt aber in keinem Prakritdialekte vor; dagegen ist der Nom. *maye* in Sep. II belegt. Das Pronomen wäre überdies hier ganz überflüssig, während anderseits das Objekt zu *paṭipādayemā*, *paṭipātayema* fehlen würde; die Ergänzung »every one« ist ganz willkürlich. Und schließlich wird dem *paṭipādayemā* ein ganz anderer Sinn untergelegt als im Anfang des Ediktes, wo dasselbe Wort mit »to cause to be practised« übersetzt wird. Bühlers Übersetzung lautet: »It happens that such a single *private* individual undergoes either imprisonment or *other* serious trouble. Then that *trouble*, which ends with imprisonment, falls upon him without any cause, and the other multitude is deeply sorry *for him*. In such *a case* you ought to desire — what? May we act justly.« Die beiden ersten Sätze sollen nach Bühler denselben Gedanken ausdrücken und ein Beispiel für die Aśoka eigene Breitspurigkeit sein. Ich glaube nicht, daß wir das Recht haben, dem Könige hier diesen Vorwurf zu machen. Bühlers Übersetzung des zweiten Satzes scheitert schon an dem *tena*, das er selbst als befremdlich bezeichnet. Er erklärt es durch Ellipse von *pattaṃ* (*prāptaṃ*). Ich muß aber bestreiten, daß sich Aśoka solche Ellipsen erlaubt; wo man sie angenommen hat, liegt überall ein Mißverständnis des Textes vor. Aber auch im einzelnen halte ich Bühlers Erklärung fast in allen Punkten für unrichtig. Über *palikilesa* habe ich schon oben, S. 857, gesprochen. Was *pāpunāti* betrifft, so halte ich jede Deutung für unrichtig, die in dem Worte einen andern Sinn sucht als in dem voraufgehenden *pāpunātha*. *Baṃdhanaṃtika* könnte gewiß an und für sich »das, was mit Gefängnis endet«, sein, wie man auch im Sk. von einem *maraṇāntika roga*, einer »mit dem Tode endigenden Krankheit«, spricht. Aber Mbh. 1, 20, 13 findet sich der Ausdruck *prāṇāntiko daṇḍaḥ*, der natürlich nur bedeuten kann »die auf *prāṇānta* bezügliche Strafe«, die »Todesstrafe«. Ebenso ist offenbar *baṃdhanaṃtika* aufzufassen, und da das Wort hier substantivisch gebraucht sein muß, so kann es meiner Ansicht nach nur »die auf die Beendigung der Gefangenschaft bezügliche Verordnung« oder, kürzer ausgedrückt, »die Aufhebung der

Haft« bedeuten[1]. *Daviye* und *majhaṃ* sind sicherlich richtig von Bühler im Anschluß an Kern (JRAS. N. S. XII, S. 388) als Vertreter von Sk. *davīyas* und *madhyam* erklärt worden; warum sollten dann aber die Wörter nicht auch die gewöhnliche Bedeutung »noch weiter«, »noch länger«[2] und »das Mittlere« haben? Ich übersetze demgemäß wörtlich: »Da ist auch ein einzelner Beamter, der von Gefängnis oder Tortur erfährt. In diesem Falle findet ohne Grund durch ihn die Aufhebung der Haft statt, die andere große Menge aber leidet noch weiter. In dieser Sache müßt ihr den Wunsch haben: ‚Mögen wir das Mittlere ausführen'. Der König hat zuerst den Fall hervorgehoben, daß ein Beamter sich nicht genügend darum kümmere, ob die königlichen Absichten befolgt werden; jetzt bespricht er den Fall, daß ein Beamter zu weit geht und ohne genügenden Grund einen Verbrecher begnadigt, während andere, die vielleicht einen größeren Anspruch auf Gnade haben, noch weiter im Gefängnis schmachten. Daher empfiehlt er den Stadtrichtern zum Schlusse, den mittleren Weg zu gehen.

Das *ekamunise*, das in J das *ekapulise* von Dh vertritt, läßt sich natürlich als der weitere Begriff verstehen; der »einzelne« schließt den »einzelnen Beamten« ein. Wahrscheinlicher ist es aber doch, daß es einfach ein Fehler für *ekapulise* ist, wenn man nicht etwa gar annehmen will, daß der Schreiber den Satz *ekapulise baṃdhanaṃ vā palikilesaṃ vā pāpunāti* falsch verstand und deswegen abänderte.

Der folgende Abschnitt über die Fehler, vor denen sich der Beamte hüten muß, schließt in Dh *etasa ca savasa mūle anāsulope atulanā ca nitiyaṃ*, in J *savasa ca iyaṃ mūle anāsulope atulanā ca niti*... Daß Senarts Übersetzung von *niti* (*nīti*) durch »moral training« nicht richtig sein kann, ergibt sich schon daraus, daß diese Bedeutung weder zu *atulanā* noch zu *anāsulope* paßt, für das Morris, Grierson und Bühler[3] die Bedeutung »Freiheit von Jähzorn« festgestellt haben[4]. Aber auch Bühlers Wiedergabe des Wortes durch »maxims of government« kann ich nicht gutheißen, da *nīti* hier natürlich dieselbe Bedeutung haben muß wie vorher. Ich übersetze: »Die Wurzel aber

---

[1] Ganz ebenso ist der Ausdruck *lajavacanika* in Sep. II J gebildet. Er ist »die mit dem Worte des Königs zusammenhängende Verordnung«, der »persönliche Erlaß des Königs«.

[2] Bühler kommt zu seiner Übersetzung, weil er *bahuke* in J als Variante von *daviye* betrachtet; aber *vage bahuke* entspricht doch offenbar dem *bahujane* von Dh.

[3] Siehe Beitr. S. 297.

[4] Senart verbindet allerdings *nitiyaṃ* nur mit *atulanā*, was wenig wahrscheinlich ist, und gibt *atulanā* mit »perseverance« wieder. Da er aber vorher selbst sagt, daß *tulanā*, Sk. *tvaraṇā*, »hurry« sei, so kann doch auch *atulanā* nur »Nichtübereilung« sein.

von alledem ist (J Dies aber ist die Wurzel von allem): Freiheit von Jähzorn und Nichtübereilung in der Verhängung von Strafen.« Man wird ohne weiteres erkennen, wie viel besser die Warnung vor Jähzorn und Übereilung für den Richter paßt als für den Verwaltungsbeamten.

An die Ermahnung zu angestrengter Tätigkeit schließen sich die schwierigen Sätze: Dh *hevaṃmeva e dakhiye tuphāka tena vataviye aṃnaṃ ne dekhata hevaṃ ca hevaṃ ca devānaṃ piyasa anusathi*, J *nītiyaṃ e ve dekheyi*[1] *aṃna ne nijhapetaviye hevaṃ hevaṃ ca devānaṃ piyasa anusathi*. Senart übersetzt: »So also it is with the supervision which ye should exercise. For this reason I command ye: — Consider ye my orders (J ye must call attention to my orders) [saying], such and such are the instructions of the king dear unto the Devas.« Im wesentlichen stimmt Bühlers Übersetzung damit überein: »Even thus *it is with respect to the affairs* which you have to decide. Hence it is necessary *for me* to tell *you*: 'Pay attention to my orders.' Such, even such, *are* the instructions of the beloved of the gods.« Senart wie Bühler beziehen also *ne* auf den König, was ich für ausgeschlossen halte, da Aśoka weder in diesem Edikte noch sonst irgendwo von sich selbst anders als in der ersten Person des Singulars redet. Beide setzen ferner Dh *aṃnaṃ*, J *aṃna* gleich Sk. *ājñām*, bzw. *ājñā*. Aber in dem ganzen Edikte ist doch nirgends von einem »Befehle« des Königs die Rede. Der König bezeichnet den Erlaß im Anfang selbst als eine *anusathi*, und von dieser *anusathi* wird ja offenbar auch hier in dem mit *hevaṃ* (*ca*) *hevaṃ ca* beginnenden Satze gesprochen. Es ist aber auch kaum anzunehmen, daß der König seine Beamten auffordern sollte, einen Befehl von ihm zu »prüfen«; denn das müßte doch die Bedeutung von *dekhata* in Dh sein. Noch größere Schwierigkeiten bereitet die Lesart von J *aṃna ne nijhapetaviye*. Hier muß man zunächst annehmen, daß sich das Maskulinum oder Neutrum *nijhapetaviye* auf das Femininum *aṃna* beziehe. Dann aber fragt man sich doch: wie sollen denn die Nagalaviyohālakas dazu kommen, die Untertanen zum Nachdenken über einen königlichen Befehl zu veranlassen, der doch nur der an sie selbst gerichtete sein könnte? Bühler hat diese Schwierigkeit erkannt und meint, das Kausativ scheine hier im Sinne des Simplex zu stehen. Eine Interpretation, die zu solchen Annahmen ihre Zuflucht nehmen muß, ist sicherlich falsch. Ich sehe in *aṃnaṃ*, *aṃna* den Vertreter von Sk. *anyat*[2]. Über *dekhata* als Vertreter von Sk. *dṛṣṭam* habe ich schon oben gesprochen. Ich übersetze daher den Text von Dh: »Ebenso (müßt ihr euch bewegen, euch regen,

[1] Lies *dekhiye*.

[2] Die Möglichkeit dieser Auffassung hat schon Senart erwogen; den im Zusammenhang damit geäußerten Vermutungen kann ich aber nicht zustimmen.

tätig sein in dem), worüber ihr zu befinden habt. Daher müßt (ihr) sagen: Anders haben wir befunden, und so und so lautet die Unterweisung des Göttergeliebten.« In J ist *saṃcalitavye tu vajitaviya pi etaviye pi* offenbar direkt mit dem folgenden zu verbinden: »(Ihr) müßt (euch) bewegen, (euch) regen, tätig sein bei der Verhängung von Strafen (in dem), worüber ihr zu befinden habt, (indem ihr sagt)[1]: Auf etwas anderes müssen wir hinweisen[2]; so und so lautet die Unterweisung des Königs.« Auch hier müssen wir wieder von der Voraussetzung ausgehen, daß die Nagalaviyohālakas mit der Revision der von den niederen Gerichtshöfen gefällten Urteile beschäftigt sind; das ist die Tätigkeit, die durch *dakhati* bezeichnet wird. Nachdem der König sie zu eifrigem Dienste ermahnt hat, gibt er an, in welcher Weise sie ihre Pflicht erfüllen sollen: sie sollen auf eventuelle Fehler in den Entscheidungen aufmerksam machen und auf die *anusathi* des Königs verweisen, die die größte Milde anempfiehlt. Es zeigt sich wieder, wie gedanklich geschlossen und einheitlich die einzelnen Edikte sind; jedem liegt ein einziges Thema zugrunde, das nach verschiedenen Seiten hin ausgeführt wird.

Die Konstruktion der Sätze in dem Schlusse des Ediktes hat, wie mir scheint, bisher nur Kern richtig verstanden. Der Text lautet in Dh[3]: *Etāye athāye iyaṃ lipi likhita hida ena nagalaviyohālakā sasvataṃ samayaṃ yujevū ti nagalajanasa akasmā palibodhe va akasmā palikilese va no siyā ti*[.] *Etāye ca aṭhāye hakaṃ dhaṃmate paṃcasu paṃcasu vasesu nikhāmayisāmi e akhakhase acaṃd. sakhinālaṃbhe hosati etaṃ aṭhaṃ jānitu tathā kalaṃti atha mama anusathī ti*[.] *Ujenite pi cu kumāle etāyeva aṭhāye nikhāmayisa . . hedisaṃmeva vagaṃ no ca atikāmayisati tiṃni vasāni*[.] *Hemeva Takhasilāte pi*[.] *Adā a . . . . . . te mahāmātā nikhamisaṃti anusayānaṃ tadā ahāpayitu atane kaṃmaṃ etaṃ pi jānisaṃti taṃ pi tathā kalaṃti atha lājine anusathī ti.* Der Sinn des ersten Satzes ist, wie Kern gesehen hat: »Zu diesem Zwecke ist dieser Erlaß hier geschrieben, damit die Nagalaviyohālakas allezeit sich darum kümmern, daß die Städter nicht ohne Grund Fesselung oder ohne Grund Tortur treffe.« Senart stellt unrichtig die beiden Sätze nebeneinander: »in order that the officers . . . may display a persevering zeal, and that there may be no arbitrary imprisonment and no arbitrary torture of the inhabitants«, und Bühler glaubte ein »saying« vor dem letzten Satze einschieben zu müssen: »that the administrators of the town may ever fulfil their covenant saying: 'The citizens shall neither with-

---

[1] Daß ein Satz wie *tena vataviye* entweder durch ein Versehen des Kopisten ausgefallen oder zu ergänzen ist, zeigt der Text von Dh zur Genüge.

[2] Wörtlich: »etwas anderes müssen wir bedenken machen.«

[3] In J ist der Text hier ganz lückenhaft.

out cause suffer imprisonment, nor without cause *any other* serious trouble'.« Das *ti* hinter *siyā* verleiht aber dem Satze finalen Sinn, wie deutlich die Vertretung dieses Satzes durch einen Dativ in dem entsprechenden Satze von Sep. II zeigt: *etāye ca aṭhāye iyaṃ lipi likhitā hida ena mahāmātā svasataṃ sama yujisaṃti asvāsanāye dhaṃmacalanāye ca tesa aṃtānaṃ* (Dh). Daß das *ti* auch hinter den Relativsatz treten kann, wenn er finalen Sinn hat, habe ich schon oben 1913, S. 1010 bemerkt und an einem andern Beispiele gezeigt.

Ehe wir uns zu dem nächsten Satze wenden, wird es gut sein, den letzen Satz zu prüfen. Senart übersetzt ihn: »By attending the *anusaṃyāna*, without at the same time neglecting their other particular duties, my officers will learn these things. Let them act in accordance therewith, following the instructions of the king.« Bühler, der *anusaṃyāna* und *mahāmāta* richtiger faßt: »When .... these officials go forth on tour, they will, without neglecting their own business, pay attention to this *order of mine*, and will act in accordance with the instructions of the king.« Senart ist gezwungen, um einen Sinn herauszubringen, *kalaṃti* als Konjunktiv zu nehmen. Abgesehen davon, daß es sehr fraglich ist, ob die Sprache überhaupt noch einen Konjunktiv besaß, sehe ich nicht ein, inwiefern *kalaṃti* formell zu dieser Auffassung berechtigen könnte. Bühler übersetzt *kalaṃti* einfach als Futurum, was natürlich nicht angeht. Bei beiden Übersetzungen bleibt es auch völlig unklar, was denn unter dem *etaṃ* eigentlich zu verstehen ist, und in beiden ist das am Schlusse stehende *ti* außer acht gelassen. Kern hat die Bedeutung dieses *ti* richtig erkannt; er übersetzt: »they will ... also ascertain whether one be acting in conformity to the orders of the king.« Kern faßt also — unzweifelhaft richtig — die Wörter *taṃ pi* bis *ti* als Fragesatz, der vorher durch *etaṃ* zusammengefaßt ist. Was Senart gegen die Annahme solcher Sätze einwendet (a. a. O. S. 93), scheint mir nicht stichhaltig. Eine genaue Parallele ist z. B. der oben besprochene Satz: *dekhata hi tuphe etaṃ suvihitā pi niti*; nur das *ti* fehlt hier wie öfter. Sachlich verstehe ich den Satz allerdings etwas anders als Kern. Er lautet ganz wörtlich übersetzt: »Wenn diese ... Mahāmātras auf die Rundreise ausziehen werden, dann werden sie, ohne ihre eigenen Geschäfte hintanzusetzen, auch dieses in Erfahrung bringen: 'Führen sie dies auch so aus, wie die Unterweisung des Königs lautet?'« Es fragt sich, wer das Subjekt zu *kalaṃti* ist. Kern denkt offenbar an die Untertanen, aber die *anusathi* richtet sich doch, wie im Anfang des Ediktes ausdrücklich gesagt wird, an die Nagalaviyohālakas[1]. Also müssen

[1] Natürlich ist das auch ein Umstand, der gegen Senart und Bühler spricht. Die Mahāmātras, von denen hier die Rede ist, haben gar keine *anusathi* empfangen.

diese auch das Subjekt zu *kalaṃti* sein, und das stimmt durchaus zu dem Sprachgebrauch des Schlußabschnittes. Während die Nagalaviyohālakas bis dahin stets in der zweiten Person angeredet werden, wird in dem Schlußabschnitte von ihnen in der dritten Person gesprochen. Die von den Prinzen in Ujjayinī und Takṣaśilā ausgeschickten Beamten haben also neben andern Geschäften die Aufgabe, die Nagalaviyohālakas zu kontrollieren[1].

Ein ganz ähnlicher Sinn muß natürlich auch in den Worten *etaṃ aṭhaṃ jānitu tathā kalaṃti atha mama anusathī ti* stecken. Gegen die Übersetzungen Senarts und Bühlers lassen sich dieselben Einwendungen machen wie bei dem letzten Satze. Dazu kommt noch, daß der Plural *kalaṃti*, wenn man das Wort mit Senart und Bühler auf den ausgeschickten Beamten bezieht, nicht zu dem vorher gebrauchten Singular (*e akhakhase ... hosati*) stimmt[2]. Es ist mir aber auch sehr zweifelhaft, ob die Lesung Senarts und Bühlers richtig ist. Zwischen *jānitu* und *tathā* ist Raum für ungefähr drei *akṣaras*, und tatsächlich sind Spuren wenigstens des ersten in der Phototypie erkennbar. Ich bin daher überzeugt, daß *jānitave taṃ pi tathā* dagestanden hat, so daß sich die Übersetzung ergibt: »Und zu diesem Zwecke werde ich in Übereinstimmung mit dem Gesetze alle fünf Jahre einen (J fügt hinzu: Mahāmātra) aussenden, der nicht hart, nicht heftig, (sondern) milde in seiner Handlungsweise sein wird, um diese Sache in Erfahrung zu bringen: 'Führen sie dies auch so aus, wie meine Unterweisung lautet?'« So übersetzte im wesentlichen richtig schon Kern[3]. Wer an der Lesung *jānitu* festhält, wird dies als ein Absolutiv erklären müssen, das wie in den späteren Prakrits im Sinne des Infinitivs gebraucht ist.

Das zweite Separatedikt ist im ganzen leichter als das erste. Mißverstanden ist aber meines Erachtens der Satz, der in J lautet: *aṃtānaṃ avijitānaṃ kiṃchaṃde su lājā aphesū ti etā kā vā*[4] *me icha aṃtesu pāpuneyu lājā hevaṃ ichati anuvigina*[5] *heyu mamiyāye asvaseyu ca me sukhaṃmeva ca laheyū mama te no khaṃ*[6]. Das soll nach Senart bedeuten: »What is, [you ask yourselves], the will of the king with regard to us relative to the independent frontier tribes? Now, this is

---

[1] Daß sowohl die kontrollierenden Beamten als auch die Nagalaviyohālakas *mahāmāta* genannt werden, beweist, daß dies ein allgemeiner Ausdruck für einen höheren Beamten ist. Über die Kontrollierung der Beamten durch höhere Beamten vgl. die von Bühler angeführte Stelle Manu 7, 120f.

[2] Senart las allerdings *kalati*, aber der Anusvāra ist deutlich.

[3] Er las aber *jānita*, das er Sk. *jñātā* gleichsetzte, und bezog das *kalaṃti* wiederum auf das Volk.

[4] Senart *etākā va*. [5] S. *anuviginā*.

[6] S. *kha*; lies: *dukhaṃ*.

my wish relative to the frontier tribes: that they may be assured that the king, dear unto the Devas, desires that they should be, as far as he is concerned, free from all disquietude; that they may trust in him and be assured that they will only receive at his hands happiness and not sorrow.« Bühler übersetzt: »*If you ask* what is the order of the king for us with respect to *his* unconquered neighbours, or what my desire here is with respect to the neighbours, *viz. what I wish* them to understand, *the answer is*, the king desires that they should not be afraid of me, that they should trust me, and that they should receive from me happiness, not misery.« Die beiden Übersetzungen unterscheiden sich in der Auffassung der Silben *etākāva* (oder *-vā*). Gemeinsam ist beiden die Annahme, daß der erste Fragesatz den Beamten, an die das Edikt gerichtet ist, in den Mund gelegt sei. Allein das hätte doch irgendwie im Texte angedeutet werden müssen. *Kiṃchaṃde* soll ferner mit dem Genitiv *aṃtānaṃ* verbunden sein: »welchen Wunsch hegend in bezug auf die Grenzvölker«, während unmittelbar danach *icha* regelrecht mit dem Lokativ *aṃtesu* konstruiert ist. Bei Bühlers Auffassung von *etākāva* ergibt sich außerdem noch eine vollkommene Tautologie der beiden ersten Sätze. Bühler macht dafür wieder die angebliche Vorliebe Aśokas für die Breite verantwortlich, bei der oft ein Gedanke durch zwei Sätze ausgedrückt werde, wo einer genügt hätte. Ich glaube, daß die Lösung der Schwierigkeiten ganz wo anders liegt. Der vorhergehende Satz schließt nach Senart und Bühler: *hevaṃmeva me icha savamunisesu siyā*. Das ist durchaus nicht im Stile des Königs; er sagt sonst: »so ist mein Wunsch«, nicht: »so dürfte mein Wunsch sein«. In Sep. I schließt außerdem der entsprechende Satz *hemeva me icha savamunisesu*. Also gehört das *siyā* zum folgenden Satze: *siyā aṃtānaṃ avijitānaṃ kimchaṃde su lājā aphesū ti*: »es könnte den nicht zum Reiche gehörenden Grenzvölkern der Gedanke kommen: 'welche Absichten hat der König gegen uns?'« Die Verbindung von *as* oder *bhū* mit dem Genitiv in der angegebenen Bedeutung ist so gewöhnlich, daß sie keiner Belege bedarf; in den Edikten selbst begegnet sie zweimal in S 7: *esa me huthā*. Ist der Satz *kiṃchaṃde* usw. die Rede der Grenzvölker, so kann natürlich der folgende Satz nicht mit Bühler *etā kā vā me icha aṃtesu* gelesen werden, sondern *etākā* muß ein Wort- und Schreibfehler für *etakā* sein, wie *saṃpaṭipātayitāve* am Schluß für *saṃpaṭipātayitave*[1], und der Satz muß die Antwort enthalten: »dies ist mein Wunsch in bezug auf die Grenzvölker: sie sollen erfahren[2], (daß) der König folgendes wünscht: sie

[1] Bühlers *saṃpaṭipātayitave* in Buddh. Stup. S. 129 ist wohl nur Druckfehler.

[2] Dh fügt, *iti* hinzu. Mit dem *pāpuneyu* steht das *hevaṃ ca pāpuneyu* in dem folgenden Satze auf gleicher Stufe; daher steht in Dh wieder *hevaṃ* [*pāpu*]*nevū iti*.

sollen ohne Furcht vor mir sein und sollen mir vertrauen und sollen Angenehmes von mir erlangen, nicht Unangenehmes.« Zu dieser Auffassung stimmen auch die Reste von Dh, die etwa herzustellen sind: [*hevaṃ*]*meva* (oder [*iya*]*meva*) *icha mama aṃtesu* [*hoti*]. Seltsam ist, daß sowohl Senart wie Bühler *mama te* als zwei Wörter lesen, obwohl der Genitiv nicht zu konstruieren und das *te* ganz überflüssig ist. Kern hatte längst *mamate* als Ablativ = Sk. *mattaḥ* erkannt.

Ausgegeben am 30. Juli.

Berlin, gedruckt in der Reichsdruckerei

SITZUNGSBERICHTE 1914.
XXXIII.

DER

KÖNIGLICH PREUSSISCHEN

AKADEMIE DER WISSENSCHAFTEN.

30. Juli. Sitzung der philosophisch-historischen Classe.

Vorsitzender Secretar: Hr. Roethe.

*1. Hr. Burdach sprach über: »Universalistische, nationale und partikularistische Mächte in der schriftsprachlichen Bewegung zur Zeit Gottscheds«.

Die inneren Beziehungen von Jacob Grimms Wissenschaft der germanischen Nationalität zum nationalen Element im Universalismus des 18. Jahrhunderts wie zu den gleichzeitigen französischen, slavischen und dänischen Anfängen nationaler Sprachkunde; die Spracheinigungsbestrebungen der Berliner Akademie im Bunde mit Gottsched; der Streit um den Begriff der Gemeinsprache und um die sprachliche Hegemonie Schlesiens oder Meißens in der Zeit von 1670—1730; nationale Autonomie und nationalistischer Imperialismus.

2. Hr. Erman legte einen Aufsatz des Hrn. H. O. Lange in Kopenhagen über »eine neue Inschrift aus Hermonthis« vor. (Ersch. später.)

Aus dem Grabe eines Antef, Fürsten von Hermonthis, zur Zeit der 11. Dynastie sind zwei merkwürdige Inschriften bekannt, die sich in Berlin und Kopenhagen befinden. Eine dritte hat Hr. Lange im British Museum entdeckt. Sie enthält u. a. die Abmachungen, die Antef mit den beiden zur Pflege seines Grabes bestellten Personen getroffen hat; sie bekommen als Entgelt ihrer Leistungen Kleider, zwei Sklaven und ein Stück Acker.

3. Hr. Loeschcke legte einen Bericht der HH. Museumsdirektor Prof. Krüger und Reg.-Baumeister Krencker über die Ausgrabung des sogenannten Kaiserpalastes in Trier für die Abhandlungen vor.

Die seit zwei Jahren auf Staatskosten erforschte großartigste Ruine spätrömischer Zeit in Deutschland wurde, wie sich mit Sicherheit ergeben zu haben scheint, als Thermenanlage errichtet mit Caldarium, Tepidarium, Frigidarium, allen üblichen Nebenräumen und einer stattlichen Palästra. Später, aber noch immer in römischer Zeit, fand ein eingreifender Umbau statt. Das Frigidarium und einige Nebenräume wurden niedergelegt, die Palästra entsprechend vergrößert. Über die Bedeutung dieses Umbaus ist bisher keine Übereinstimmung erzielt. Man schwankt, ob er nunmehr als

Kaiserpalast verwendet worden sei, ob als Markt mit anliegender Basilika oder sogleich als christliche Kirche, was im Mittelalter der Fall war. Grabungen und Forschungen werden noch zwei Jahre fortgesetzt.

4. Hr. Goldschmidt überreichte seine »Elfenbeinskulpturen aus der Zeit der Karolingischen und Sächsischen Kaiser, VIII.—XI. Jahrhundert«. Bd. 1. (Berlin 1914).

Ausgegeben am 28. August.

1914.

XXXIV.

SITZUNGSBERICHTE

DER

KÖNIGLICH PREUSSISCHEN

AKADEMIE DER WISSENSCHAFTEN.

30. Juli. Sitzung der physikalisch-mathematischen Classe.

Vorsitzender Secretar: Hr. Waldeyer.

1. Hr. Warburg las über den Energieumsatz bei photochemischen Vorgängen in Gasen. IV. Einfluß der Wellenlänge und des Drucks auf die photochemische Ozonisierung.

Die durch Ultraviolettbestrahlung erzeugte Ozonmenge ergibt sich pro absorbierte Grammkalorie für die Wellenlänge 0.253 Mikron kleiner als für 0.209 Mikron und bei einem Druck von 300 kg/qcm kleiner als bei 125 kg/qcm. Beides steht im Widerspruch zu dem Einsteinschen Äquivalentgesetz, welches deshalb einer erheblichen Modifikation bedarf, um den Tatsachen gerecht zu werden.

2. Hr. Beckmann legte eine Mitteilung der HH. Richard Willstätter und László Zechmeister in Berlin vor: Synthese des Pelargonidins.

Das Anthocyanidin der Scharlachpelargonie ist synthetisch dargestellt worden; durch die Synthese wird für das Pelargonidin die Konstitution eines Oxyphenyltrioxybenzopyryliums bewiesen.

Berichtigung.

In der vor kurzem ausgegebenen Abhandlung des Hrn. Branca, Bericht über die mir zugegangenen Urteile der Fachgenossen, betreffend die in »Ziele vulkanologischer Forschung« von mir gemachten Vorschläge (Abhandlungen der physikalisch-mathematischen Classe, Jahrg. 1914, Nr. 2), muß es S. 45, Nr. 62 (Schreiben des Hrn. Becke in Wien), Zeile 2 statt »eine unmögliche Bedingung« heißen »eine unumgängliche Bedingung«.

Über den Energieumsatz bei photochemischen Vorgängen in Gasen.

IV[1]. Einfluß der Wellenlänge und des Drucks auf die photochemische Ozonisierung.

Von E. Warburg.

(Mitteilung aus der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt.)

42. Wird bei einem photochemischen Vorgang Strahlungsenergie von der Wellenlänge λ absorbiert, so gibt das Einsteinsche Äquivalentgesetz für die primär zersetzte Menge p das »Photolyten« in Mol pro absorbierte Grammkalorie den Wert

$$p = \frac{\lambda}{1.98 \cdot c} \cdots, \tag{1.}$$

wo $c = 14300$, wenn λ in Mikron ausgedrückt wird.

Auf die primäre Reaktion folgen die sekundären Reaktionen, welche schließlich zu den beobachtbaren Endprodukten führen; es werde angenommen, daß die sekundären Reaktionen unabhängig von der Strahlung verlaufen. Den Betrag eines Endprodukts in Mol pro absorbierte Grammkalorie habe ich die spezifische photochemische Wirkung für dieses Endprodukt genannt und mit ϕ bezeichnet. Um ϕ aus p zu berechnen und damit das Einsteinsche Gesetz zu prüfen, muß man Hypothesen über die Art der primären und sekundären Reaktionen einführen, was die Prüfung der Theorie zuweilen erschwert.

Für den einfachsten Fall gasförmiger Photolyte liegen bis jetzt nur wenige Versuche vor, die zur Prüfung dienen können.

Bei der Photolyse des Ammoniaks ist die primäre Reaktion der Zerfall des NH_3-Moleküls. Als sekundäre Reaktionen kommen in Betracht die Bildung von N_2 und H_2 aus den primären Produkten und die

---

[1] I. diese Berichte 1911 S. 746, II. ebenda 1912 S. 216, III. ebenda 1913 S. 644. Die Paragraphen der vorliegenden Mitteilung sind mit denen der dritten fortlaufend numeriert.

Rückbildung von NH_3 aus diesen. Schließt man Rückbildung aus, so ergibt sich in bezug auf $\frac{1}{2} N_2$

$$\phi = p.$$

Versuche mit der Wellenlänge $\lambda = 0.209$ lieferten[1]

$$\phi = 0.172 \cdot 10^{-5},$$

während

$$p = 0.735 \cdot 10^{-5}.$$

Hieraus ist zu schließen, daß entweder das EINSTEINsche Gesetz hier nicht gilt oder daß eine erhebliche Rückbildung von NH_3 aus den primären Produkten stattfindet.

Bei der photochemischen Ozonbildung werde als primäre Reaktion

$$O_2 = O + O,$$

als sekundäre

$$O_2 + O = O_3$$

sowie eventuell Rückbildung von O_2 aus $O + O$ angenommen. Wird wieder letztere ausgeschlossen, so folgt in bezug auf O_3

$$\phi = 2p,$$

da aus einem zersetzten O_2-Molekül zwei O_3-Moleküle entstehen. Aus Versuchen bei Sauerstoffdrucken von 100—150 kg/qcm mit der Wellenlänge $\lambda = 0.209$ ergab sich[2]

$$\phi = 1.35 \cdot 10^{-5}$$

während

$$2p = 1.47 \cdot 10^{-5}.$$

Hier zeigt sich eine ziemliche Annäherung an das EINSTEINsche Gesetz, auch ist erhebliche Rückbildung von O_2 aus $O + O$ bei den benutzten hohen Drucken nicht wahrscheinlich.

Versuche über photochemische Desozonisierung sind zu einer schärferen Prüfung des Gesetzes nicht geeignet, da für die Hypothesen über die sekundären Reaktionen hier ein zu großer Spielraum bleibt. Immerhin zeigten verdünnte Ozonlösungen in O_2, N_2, He ein einfaches und dem EINSTEINschen Gesetz nicht widersprechendes Verhalten[3].

Es schien nun besonders wichtig, die in dem EINSTEINschen Gesetz enthaltene Beziehung zur Wellenlänge zu prüfen. Die Desozonisierungsversuche mit verdünnten Ozonlösungen können dazu nicht dienen, da die Absorptionsmessungen für die schwächer absorbierbaren Wellenlängen hier zu ungenau sind. Indessen ergab sich, daß auch die Doppellinie der Zinkfunkenstrahlung von der mittleren Wellenlänge

[1] Diese Berichte 1911 S. 746. Es ist $\phi = s/H = 0.02/11700 = 0.172 \cdot 10^{-5}$.
[2] Diese Berichte 1912 S. 216. Es ist $\phi = s/H = 0.46/34100 = 1.35 \cdot 10^{-5}$.
[3] Diese Berichte 1913 S. 644.

0.253 bei den mit der benutzten Druckzelle erreichbaren Drucken von 100—150 kg/qcm in meßbarem Betrage absorbiert wird und ozonisierend wirkt. Es wurden also zunächst Versuche mit $\lambda = 0.253$ und der alten Zelle gemacht. Es schien aber wünschenswert, höhere Drucke zu benutzen, um die Absorption zu verstärken; deshalb wurde eine neue Druckzelle für Drucke bis 400 kg/qcm konstruiert, wodurch weiter Gelegenheit gegeben war, den Einfluß des Drucks auf die photochemische Ozonisierung zu untersuchen. Vor der Mitteilung der Versuchsergebnisse erlaube ich mir, über Ergänzungen der Apparatur und Verbesserungen der Methode zu berichten.

43. Strahlungsmessung, Einstellung auf Wellenlängen. Der große Fluoreszenzschirm zur Ausblendung der gewünschten Strahlung (I, § 2) wurde durch ein kleines, kreisförmiges Fluoreszenzschirmchen in einem hölzernen, 25 mm weiten, 25 mm langen Rohr ersetzt. Aus dem Spalt im Schirmchen gelangten die Strahlen auf die II, § 19 erwähnte Quarzlinse Q. Das Holzrohr war zur Einstellung des Spalts auf verschiedene Spektralbezirke um eine horizontale Achse drehbar. Das Spektrum auf dem Schirmchen konnte mittels eines Spiegels beobachtet und dadurch die vorläufige Einstellung bewirkt werden. Zur schärferen Einstellung läßt man die aus der Linse kommende Strahlung auf einen kleinen Quarzspektrographen mit auffangender Uranglasplatte fallen. So war es möglich, leicht und sicher auf die fünfteilige ($\lambda = 0.209$) oder zweiteilige ($\lambda = 0.253$) Liniengruppe des Zinks einzustellen.

44. Die Eichung durch die Hefnerlampe wurde unter den Bedingungen vorgenommen, unter welchen Gerlach[1] die Strahlung der Lampe in g-kal. neuerdings gemessen hat, da diese Bedingungen besser definiert sind als die von Ångström. Allerdings hat leider auch Gerlach den Wasserdampfdruck nicht angegeben, auf welchen seine Messungen sich beziehen (vgl. III, § 29). Die Eichungen wurden gegründet auf den Wert der Gesamtstrahlung, welchen Gerlach für die Entfernung von 102.3 cm angibt, und welcher auf 100 cm reduziert $C = 22.6 \cdot 10^{-6}$ g-kal./qcm · sc. beträgt. Da dieser Wert wegen der Strahlung der Flammengase von der Entfernung nicht ganz unabhängig ist, so erfolgten die Eichungen stets bei einer Entfernung von ungefähr 100 cm. Da auch die Größe der bestrahlten Bolometerfläche nicht ohne Einfluß ist, so achtete man darauf, daß diese Fläche bei den Eichungen und den Strahlungsmessungen ungefähr von der gleichen Größe war.

45. Die bolometrische Brückenanordnung ist aus den Figuren 1a (nach Maxwell, Treatise Vol. I, S. 398) und 1b ersichtlich.

---

[1] W. Gerlach, Phys. Zeitschr. 14. Jahrg., S. 577, 1913.

Fig. 1a.

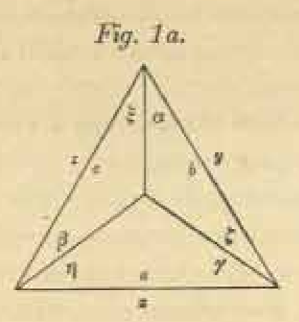
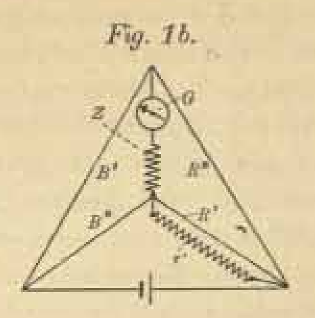


Fig. 1b.



Es ist

$c = B'$ = Widerstand des bestrahlten Bolometerzweiges = 11.9 Ω
$\beta = B''$ = » » unbestrahlten » = 9.9 Ω
γ gebildet aus $R' = 100$ Ω und $r' = 3500 - 4000$ Ω im Nebenschluß zu R'
$b = R'' = 81.6$ Ω
$\alpha = G + Z = 10.6$ Ω (Galvanometerwiderstand) + zugeschalteter Widerstand (0—1200 Ω).

Mit der Temperatur ändert sich in regelmäßiger Weise die Gleichgewichtslage des stromlosen Panzergalvanometers und gleichzeitig dessen Empfindlichkeit, dadurch und durch Änderungen der elektromotorischen Kraft der Batterie (Akkumulator) die Empfindlichkeit der bolometrischen Anordnung ($d\xi/dc$). Um die bei einer Empfindlichkeit vorgenommene Eichung auf eine andere Empfindlichkeit zu reduzieren, benutzte man, während $Z = 900$ Ω war, die durch Zuschalten von 0.1 Ω in den Zweig R'' entstehende Galvanometerablenkung s, welcher die Empfindlichkeit proportional gesetzt wurde. In der folgenden Tabelle bedeutet e die Entfernung zwischen der Flammenmitte und dem Diaphragma des Bolometers in Meter, a'_k die Galvanometerablenkung durch die Lampenstrahlung für $Z = 200$ Ω, reduziert auf die $s = 279$ entsprechende Empfindlichkeit.

Tabelle I.

Datum	Wasser-dampfdruck	$e^2 a'_k$
10. Nov. 13	7.8 mm	20.0
20. » 13	4.5 »	20.8
1. Dez. 13	8.2 »	20.5
3. Jan. 14	5.8 »	20.8

Ein großer Einfluß der Feuchtigkeit zeigt sich hier jedenfalls nicht. Im Mittel wurde $e^2 a'_k$ für $s = 279$ gleich 20.5 angenommen.

46. Zu den verschiedenen Messungen sind sehr verschiedene Empfindlichkeiten erforderlich, welche man durch Variation von Z hervorbrachte. Zur Berechnung der Versuche muß das Verhältnis der Empfindlichkeiten $x = \delta\xi/de$ für verschiedene Z bestimmt werden, wozu man zwei verschiedene Methoden benutzen kann.

Wenn die Brücke einsteht, ist $x = E\cdot\gamma/D$, wo D die bekannte aus den Widerständen der Zweige gebildete Determinante bedeutet; nach der ersten Methode bestimmt man die Änderungen $\Delta\gamma$ von γ, welche dieselbe Galvanometerablenkung hervorbringen. Sofern γ merklich konstant bleibt, ist $x_2/x_1 = \Delta\gamma_1/\Delta\gamma_2$.

Nach der zweiten Methode benutzt man die für konstantes γ geltende Gleichung $x_2/x_1 = D_1/D_2$ und berechnet D jedesmal aus den bekannten Widerständen. Beide Methoden führten zu hinreichend übereinstimmenden Ergebnissen.

47. Absorption der Quarzplatten. Bereits in meiner ersten Mitteilung habe ich die Schwächung von $\lambda = 0.209$ durch eine 1.4 mm dicke Quarzplatte etwas größer gefunden als die Schwächung durch Reflexion nach den Fresnelschen Formeln (I, § 6). Erheblich größer ist die Schwächung dieser Wellenlänge durch die 7 bzw. 10 mm dicken Platten, welche zum Verschluß der Druckzellen dienen. Die Bestimmungen sind wegen der Inkonstanz der Funkenstrahlung ziemlich schwierig, weshalb sie öfter wiederholt wurden. Die Durchlässigkeiten R der Quarzplatten für $\lambda = 0.209$ ergaben sich wie folgt:

Tabelle II.

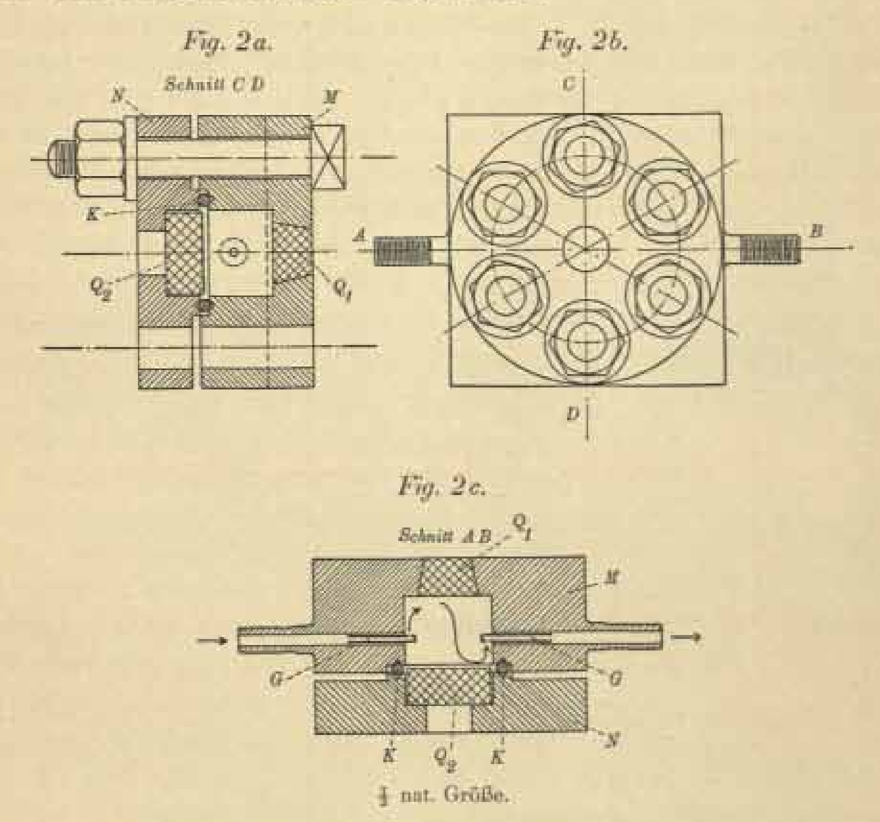
Dicke in mm	k	Zahl der Bestimmungen	k/k_0
1.4	0.851	9	—
7	0.752	14	0.883
10	0.578	10	0.679
10 (keilförmig)	0.550	8	0.646

Nun ist das Bolometergehäuse durch eine 1.4 mm dicke Quarzplatte verschlossen. Man findet daher aus der am Bolometer gemessenen Intensität die auf das Gas der Druckzelle fallende durch Multiplikation mit $\frac{k}{k_0}$, wo $k_0 = 0.851$.

Für $\lambda = 0.253$ habe ich auch durch eine 10 mm dicke Platte keine Absorption gefunden.

48. Erzeugung von Sauerstoffdrucken bis 400 kg/qcm. Sauerstoff käuflicher Bomben von 40 l Inhalt und 120 bis 150 kg/qcm Druck wurde in ein 5 l fassendes Kompressionsgefäß eingelassen, in diesem auf den gewünschten Druck gebracht und auf ihm bei den Versuchen

gehalten, indem man nach Abschluß von der Bombe Wasser von unten einpumpte. Zum Trocknen des Gases diente eine 800 mm lange, 20 mm lichtweite Vorlage von festem Ätzkali in einem Bronzerohr von 10 mm Wandstärke. Zwischen der Vorlage und der Druckzelle war ein Federmanometer eingeschaltet, dessen bis 750 kg/qcm reichende Teilung einen Durchmesser von 145 mm besaß. Selbst die größten benutzten Ausflußgeschwindigkeiten von 13 l in der Minute ließen die Angaben dieses Manometers ungeändert, welche also dem Druck in der Zelle entsprechen. Seitdem einmal bei Anwendung einer Fiberdichtung unter Verbrennung der letztern eine heftige Explosion erfolgt war, wurden in den Leitungen stets Metall-, nämlich Aluminium- oder Kupferdichtungen angewandt[1].



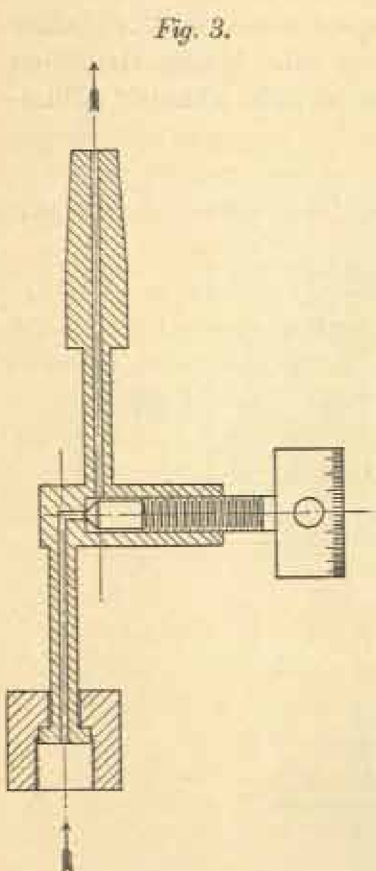
½ nat. Größe.

49. Die Zelle II für Drucke bis 400 kg/qcm ist in den Figuren 2a—2c in ½ natürlicher Größe abgebildet (angefertigt in der Werkstatt der Reichsanstalt nach Angaben des Hrn. Prof. Jakob). Sie besteht aus zwei stählernen Teilen *M* und *N*, welche durch sechs starke Schraubenbolzen mittels des Kupferdichtungsringes *K* gasdicht zusammengepreßt werden. Q_1 und Q_2 sind 10 mm dicke Quarzfenster

[1] Siehe Die Naturwissenschaften, Jahrg. 1913, S. 920.

bzw. für den Ein- und Austritt der Strahlen; Q_2 ist eine konische Platte. Die Fenster werden mit der bekannten Wachskolophoniummischung gasdicht festgekittet. Die Innenwände der Zelle sowie die Ein- und Austrittsröhren für den Gasstrom sind stark vergoldet. In die Ein- und Austrittsröhren sind 1 mm weite, an den nach innen gekehrten Enden verschlossene Goldröhren eingesetzt. Das Gas tritt ein bzw. aus durch seitliche Öffnungen, welche nach entgegengesetzten Seiten gekehrt sind, die Pfeile Fig. 2c zeigen den Weg des Gases. Diese Anordnung dient zur ausgiebigen Durchmischung des Gasinhalts und erwies sich als wesentlich (§ 54). Auf die Justierung der Zelle II vor dem Spalt mußte wegen der kleineren Fenster und des größeren Weges der Strahlen vom Spalt bis zum Austritt mehr Sorgfalt als bei der Zelle I verwandt werden. Mittels eines gegen das Austrittsfenster gehaltenen Uranglasplättchens überzeugte man sich, daß die Strahlen die Zellenwand nicht berührten.

Fig. 3.



50. Ozonbestimmung. Bei den früheren Versuchen entwich das Gas aus der Druckzelle durch eine 10 cm lange, sehr enge Platinkapillare, welche leicht verstopft und dadurch bald unbrauchbar wurde. In noch höherem Maße war dies bei den größeren Ausflußgeschwindigkeiten der neuen Versuche der Fall. Ich ersetzte daher die Kapillare durch ein 1 mm weites Ausflußrohr aus Gold (Fig. 3)[1]. Die sehr enge Ausflußöffnung konnte durch eine stählerne, stark vergoldete Schraubenspitze verschlossen werden; indem man diese passend lüftete, stellte man die gewünschten Ausflußgeschwindigkeiten her. Dabei erwies es sich nötig, die Ausflußöffnung durch einen kleinen untergesetzten Brenner warm zu halten. Die Ausflußgeschwindigkeiten wurden durch eine Gasuhr gemessen.

Bei den Versuchen mit $\lambda = 0.253$, welche dem starken Absorptionsmaximum des Ozons ($\lambda = 0.258$) naheliegt, mußten größere Aus-

[1] Die Figur stellt einen Vertikalschnitt dar, doch muß man sich das Eintrittsrohr bis zum Knie um 90° in die Horizontalebene gedreht denken.

flußgeschwindigkeiten als bei $\lambda = 0.209$ angewandt werden, wodurch die Jodkaliumlösung aus dem früher benutzten Absorptionsgefäß teilweise herausgeschleudert wurde. Man verwandte daher ein Absorptionsgefäß aus 30 mm weiten Kammern mit Ausflußröhren von 9 mm Lichtweite, was völlig ausreichte. Titriert wurde immer mit einer $^2/_{100}$ n-Lösung von Natriumthiosulfat, wie III, § 28 beschrieben. Benutzt man einen ungefetteten Hahn in der Meßbürette, so hält sich die Ausflußkapillare für die Tropfenzählung unbegrenzt.

Die Nachbläuung, welche nach etwa $\frac{1}{2}$ Stunde auftritt, ist unabhängig vom Ozon, sie tritt nämlich bei einem ohne Bestrahlung angestellten, kein Ozon liefernden Versuch in gleicher Weise auf, sie ist eine Folge des in der Lösung absorbierten Sauerstoffs und des Ansäuerns; in neutraler Jodkaliumlösung zeigt sie sich nicht.

51. Die Absorption der Strahlung durch den Sauerstoff ist leicht zu messen, wenn sie mehr als etwa 95 Prozent beträgt, indem man die kleineren Intensitäten mit einer größeren Galvanometerempfindlichkeit auswertet. Sehr schwer ist es hingegen wegen der Inkonstanz der Funkenstrahlung kleinere Absorptionen bis hinab zu 40 Prozent, um die es sich bei der Wellenlänge $\lambda = 0.253$ handelt, hinreichend genau zu bestimmen; nur durch eine große Zahl von Ablesungen gelangt man hier zu einigermaßen sicheren Werten. Die folgende Tabelle gibt die Ergebnisse der Versuche, bei welchen das Gas durch die Zellen strömte, und zwar mit der bei den ϕ-Bestimmungen verwandten Geschwindigkeit.

Tabelle III.

Absorption der Strahlung 0.253 durch Sauerstoff.

Zelle I, Strahlenweg 1.7 cm.

Druck P kg/qcm	A Prozent	Zahl der Versuchsreihen	V lit./min.
110	43.7	6	7.4
140.3	57.7	5	7.7
Zelle II, Strahlenweg 1.4 cm.			
129.5	40.6	4	9.1
147.3	49.7	4	8.9
300	88.0	4	9.8

52. Der Gang eines photochemischen Versuchs war folgender: Nach Bestimmung der Empfindlichkeit (1) § 45 mißt man die bolometrische Galvanometerablenkung a_1 (I, § 5) (2); es folgen (3) je 3 bis 4 Versuche über die Ozonbildung durch 5 Minuten lang dauernde Strahlung, worauf (1) und (2) wiederholt werden. Endlich mißt man

das Volumen von 100 Tropfen (III, § 28), welches 0.90—0.92 ccm beträgt. Die gemessenen Ozonmengen entsprechen 14—40 Tropfen. Das Ausflußventil (IV, § 50) wird vor jeder Versuchsreihe durch Alkohol und Äther gereinigt, die Druckzellen werden von Zeit zu Zeit geputzt.

53. Die einzelnen Versuchsergebnisse sind in den folgenden Tabellen IV und V, die Mittelwerte für alle untersuchten Fälle in Tab. VI verzeichnet.

Tabelle IV.

Zelle I.

$\lambda = 0.209$

Datum	Vers.-Nr.	P kg/qcm	V lit./min.	A Prozent	v ccm	$E_1 \cdot 10^6$ g-Kal./Sek.	$\phi \cdot 10^5$
10. Dez. 13	1	120	15	98	0.301	403	1.25
11. » 13	2	112	—	96	0.279	343	1.36
12. » 13	3	108	—	96.5	0.282	368	1.28
30. » 13	4	120	4.8	98	0.248	308	1.34
31. » 13	5	115	7.1	98	0.259	320	1.34
31. » 13	6	114	7.7	98	0.249	290	1.43
30. März 14	7	131	7.3	98	0.357	415	1.44
7. April 14	8	111	5.3	97	0.311	243	1.42
17. » 14	9	98	5.7	95	0.298	331	1.50
17. » 14	10	98	7.3	95	0.182	204	1.49
30. » 14	11	124	4.7	98	0.314	361	1.45
1. Mai 14	12	118	—	96	0.309	386	1.33
						Mittel	1.39

$\lambda = 0.253$

Datum	Vers.-Nr.	P kg/qcm	V lit./min.	A Prozent	v ccm	$E_1 \cdot 10^6$ g-Kal./Sek.	$\phi \cdot 10^5$
23. Dez. 13	13	110	9.2	43.7	0.173	240	1.20
29. » 13	14	125	5.8	50.7	0.161	247	1.09
20. Juli 14	15	119	7.6—10.2	47.8	0.131	243	0.893
20. » 14	16	114	8—8.8	45.6	0.130	215	1.01
21. » 14	17	143	9.8—12.1	58.9	0.153	303	0.841
21. » 14	18	133	4.4—9.3	54.1	0.142	279	0.851
						Mittel	0.981

Tabelle V.

Zelle II.

$\lambda = 0.209$

Drucke der Sauerstoffbomben

Datum	Vers.-Nr.	P kg/qcm	V lit./min.	A Prozent	v ccm	$E_1 \cdot 10^6$ g-Kal./Sek.	$\phi \cdot 10^5$
23. April 14	19	121	8.4	93.8	0.164	216	1.27
28. » 14	20	135	6.9	95.6	0.202	243	1.38
29. » 14	21	129	3.1	94.9	0.197	279	1.18
1. Mai 14	22	115	2.3	93.3	0.203	264	1.28
7. Juli 14	23	128	4.8	94.8	0.180	236	1.21
7. » 14	24	119	9.2	93.7	0.176	205	1.44
						Mittel	1.29

Druck 300 kg/qcm

Datum	Vers.-Nr.	P kg/qcm	V lit./min.	A Prozent	e ccm	$E_1 \cdot 10^6$ g-Kal./Sek.	$\phi \cdot 10^5$
2. Juli 14	25	300	3.2	97.8	0.169	257	1.10
3. » 14	26	300	3.2	97.8	0.187	275	1.13
6. » 14	27	300	—	97.8	0.171	258	1.10
13. » 14	28	300	5.9	97.8	0.164	234	1.17
						Mittel	1.13
$\lambda = 0.253$							
Drucke der Sauerstoffbomben							
15. Juli 14	29	139	7.9	45.7	0.138	246	0.938
16. » 14	30	127	4.6	39.3	0.126	220	0.969
16. » 14	31	124	7—12.5	37.8	0.127	202	1.048
						Mittel	0.985
Druck 300 kg/qcm							
13. Mai 14	32	300	9.8—13.7	88.0	0.129	375	0.573
26. Juni 14	33	300	8.6—13.7	88.0	0.124	439	0.472
29. » 14	34	300	9.8—14.3	88.0	0.146	469	0.520
30. » 14	35	300	6.8—14.3	88.0	0.131	432	0.505
						Mittel	0.518

Tabelle VI.

Zelle	P kg/qcm	$\phi \cdot 10^5$	
		$\lambda = 0.209$	$\lambda = 0.253$
I	125	1.39	0.981
II	125	1.29	0.985
	300	1.13	0.518
	theoretisch	1.47	1.78

54. Diskussion, Versuche mit $\lambda = 0.209$. Die Versuche Nr. 1 bis 12 mit Zelle I stellen eine Wiederholung der Versuche der II. Mitteilung dar. Der mittlere Wert von ϕ für die kleineren Drucke von 100—120 kg/qcm ist nur ein wenig größer als der früher erhaltene ($1.39 \cdot 10^{-5}$ gegen $1.35 \cdot 10^{-5}$). Diese verhältnismäßig gute Übereinstimmung rührt indessen daher, daß verschiedene früher begangene Fehler in entgegengesetztem Sinne gewirkt haben, übrigens kommt der neue Wert dem aus dem EINSTEINschen Gesetz folgenden ($1.47 \cdot 10^{-5}$ § 42) noch etwas näher.

Nr. 19—24 enthalten dieselbe Bestimmung mit Zelle II. Diese lieferte in ihrer ersten, der Zelle I entsprechenden Konstruktion (II, § 16 Fig. 1) kleinere Werte. Nach vielen Versuchen entstand der Verdacht, daß die Durchmischung des Gases hier nicht so vollständig war als bei Zelle I, teils wegen des größeren Volumens der Zelle II

(6 ccm gegen 4.6 ccm bei Zelle I), teils wegen des in der Zelle II vorhandenen toten, nicht von der Strahlung durchsetzten Raumes (s. Fig. 2, § 49). Würde der Gasstrahl zwischen der Ein- und Austrittsstelle sich gar nicht verbreitern, gerade durch die Zelle hindurchschießen, so ginge die Ozonbildung in dem größten Teil des Raumes dem Versuch verloren. Es wurde deshalb behufs besserer Durchmischung die § 49 beschriebene, Fig. 2c dargestellte Anordnung benutzt, welche eine wesentliche Verbesserung lieferte, nämlich den ϕ-Wert bis auf 7 Prozent an den mit Zelle I erhaltenen hinanbrachte. Dieselbe Verbesserung mit der Zelle I vorgenommen änderte hier die Werte nicht, wie die mit dieser Einrichtung angestellten Versuche Nr. 11 und 12 zeigen.

Nach Nr. 24—27 ist ϕ für 300 kg/qcm kleiner als für 125 kg/qcm, und zwar gleich 88 Prozent des Wertes für den letztgenannten Druck.

55. Versuche mit $\lambda = 0.253$. Wie Tab. VI zeigt, ergaben sich unter den gleichen Umständen sämtliche ϕ-Werte für $\lambda = 0.253$ kleiner als für $\lambda = 0.209$, während das Einsteinsche Gesetz gerade das Umgekehrte verlangt; man erhält bei 125 kg/qcm 55 Prozent, bei 300 kg/qcm nur 29 Prozent des theoretischen Wertes (1.78). Ferner zeigt sich hier ein bedeutender Einfluß des Drucks: der ϕ-Wert ist bei 300 kg/qcm erheblich kleiner als bei 125 kg/qcm.

Am unsichersten sind die Ergebnisse der Versuche Nr. 13—18 und 29—31 wegen der Unsicherheit in der Absorption des Sauerstoffs. Um $\frac{3}{4}$ Jahr ältere Versuche lieferten für $P = 300$ kg/qcm denselben Wert wie die neueren, nämlich 88 Prozent (Nr. 32—35), so daß hier ein Zweifel kaum besteht. Dagegen wurde damals die Absorption bei den kleineren Drucken der Sauerstoffbomben nicht unerheblich größer gefunden; die Benutzung dieser größern Werte würde indessen die ϕ-Werte noch weiter verkleinern, so daß die gezogenen Schlüsse bestehen bleiben. Ich behalte mir vor, die zweifelhaften Werte durch neue Absorptionsversuche zu berichtigen.

Man könnte daran denken, daß das abweichende Verhalten der beiden Wellenlängen in sekundären Umständen begründet sei, z. B. in der kleineren Absorption der längeren Welle. Indessen tritt der kleinste Wert (0.518) gerade bei einer Absorption auf, welche nur wenig kleiner ist als für $\lambda = 0.209$ (88 gegen 95 Prozent).

56. Man könnte ferner daran denken, daß die starke Absorption des Ozons für $\lambda = 0.253$ die Ergebnisse fälscht, indem der vom Ozon absorbierte Anteil der Strahlung einerseits für die Ozonisierung verloren geht, anderseits desozonisierend wirkt (vgl. II, § 21). Es liegen die nötigen Daten vor, um diese Fehlerquelle zu beurteilen. Sei A die beobachtete Absorption, A' die Absorption des Ozons; da diese klein ist, kann man setzen (II, § 21) $A' = \alpha \cdot c \cdot d/44.6$, wo α nach Edg.

MEYER[1] 286 ist. Ferner $c = \frac{v \cdot 5}{V \cdot t} \cdot \frac{P}{1.033}$ Mol/cbm (II, § 19, da bei den neuen Versuchen eine $^1/_{100}$ n-Natriumthiosulfatlösung benutzt ward, so steht in der Formel 5 statt 10). Von der ganzen auf das Gas fallenden Strahlungsenergie E_0 absorbiert der Sauerstoff $E_0 \cdot (A - A')$, das Ozon $E_0 \cdot A'$. Werden ϕ' Mol Ozon durch eine von demselben absorbierte g-Kal. zerstört und sind m Mol Ozon gebildet, so ist

$$\phi \text{ korr.} = \frac{m + E_0 \cdot A' \cdot \phi'}{E_0 (A - A')} = \phi \text{ unkorr.} \cdot \frac{A}{A - A'} + \phi' \cdot \frac{A'}{A - A'} \cdots \quad (2)$$

Nach III, § 32 ist für verdünnte Ozonlösungen in Sauerstoff von Atmosphärendruck $\phi' = 0.253$. Dieser Wert wurde hier zugrunde gelegt, obgleich nach III, § 35 ϕ' für Sauerstoffdrucke von 125 bis 300 kg wahrscheinlich bedeutend kleiner ist.

Man findet so für Zelle II

P	c	A'	A	$\phi\ 10^5$ unkorr.	$\phi\ 10^5$ korr.
125	0.00157	0.014	0.40	0.99	1.036
300	0.00377	0.034	0.88	0.52	0.552

Wenn auch die Korrektion die Werte merklich erhöht, so bleiben doch die gezogenen Schlüsse bestehen.

Für $\lambda = 0.209$ bleibt die Korrektion wegen Absorption des Ozons unter 1 Prozent.

57. Zusammenfassend kann man als Ergebnis der Versuche folgendes hinstellen.

Unter der Annahme, daß bei der photochemischen Ozonisierung des Sauerstoffs der primäre Prozeß nach der Gleichung $O_2 = O + O$, der sekundäre nach der Gleichung $2\,O + O_2 = 2\,O_3$ verläuft, ergibt sich die für eine absorbierte g-Kal. gebildete Ozonmenge

1. für $\lambda = 0.209$ und $P = 125$ kg/qcm in naher Übereinstimmung mit dem EINSTEINschen Gesetz;

2. für $\lambda = 0.253$, im Widerspruch mit diesem Gesetz, kleiner als für $\lambda = 0.209$, und zwar bei 125 kg/qcm gleich 55 Prozent[2], bei 300 kg/qcm gleich 29 Prozent des theoretischen Wertes;

3. im Widerspruch mit diesem Gesetz, welches einen Druckeinfluß nicht vorsieht, mit wachsendem Sauerstoffdruck abnehmend, nämlich bei 300 kg/qcm für $\lambda = 0.209$ und 0.253 bzw. 88 und 53[3] Prozent des Wertes bei 125 kg/qcm. Die EINSTEINsche Theorie ist daher jedenfalls zu modifizieren, wenn sie den Tatsachen gerecht werden soll.

[1] EDG. MEYER, Ann. d. Phys. 12, 849, 1903.

[2] Wahrscheinlich noch etwas weniger.

[3] Wahrscheinlich etwas mehr.

58. In bezug hierauf möge zunächst auf eine einfache Konsequenz des Einsteinschen Gesetzes aufmerksam gemacht werden. Sei q in g-Kal. die Energie, welche von einem Mol O_2 bei isothermer und isochorer Spaltung in $O+O$ bei Zimmertemperatur aufgenommen wird. Nach dem Einsteinschen Gesetz werden $p = \lambda/1.98\,c$-Mol O_2 durch eine absorbierte g-Kal. in $O+O$ gespalten. Nimmt man an, daß bei diesem Vorgang keine Abkühlung erfolgt, so ist er nur möglich, solange

$$q \lesseqgtr \frac{1}{p} \text{ oder } q \lesseqgtr \frac{1.98\,c}{\lambda} \text{ oder } \lambda \lesseqgtr \frac{1.98\,c}{q} \cdots \qquad (3)$$

Es müßte also nach dem Einsteinschen Gesetz die pro absorbierte g-Kal. primär zersetzte Menge des Photolyten mit der Wellenlänge wachsen bis zu dem durch (3) bestimmten Wert derselben und dann plötzlich verschwinden[1]. Ein solches Verhalten dürfte aber wenig wahrscheinlich sein.

Das Einsteinsche Gesetz beruht nun in seiner ursprünglichen Herleitung erstens auf der Annahme, daß bei der Absorption jedesmal ein Energiequantum aufgenommen wird, woraus sich durch Division des Quantums in die absorbierte Energie die Zahl der absorbierenden Moleküle ergibt; zweitens auf der Annahme, daß alle absorbierenden Moleküle zersetzt werden. Es scheint sich zu empfehlen, die erstgenannte Annahme vorläufig beizubehalten, dann muß man auf Grund der Versuchsergebnisse die zweite fallen lassen und schreiben

$$p = \frac{\lambda}{1.98\,c} \cdot f(\lambda, P) \; \ldots\ldots, \qquad (4)$$

wo f den Bruchteil der absorbierenden Moleküle bedeutet, welcher zersetzt wird. Der erste Faktor dieses Ausdrucks verschwindet für $\lambda = 0$, der zweite für $\lambda = \infty$, p muß also für einen bestimmten Druck bei einem gewissen Wert von λ ein Maximum besitzen. Der experimentelle Nachweis, daß ein solches Maximum wirklich existiert, scheint mir für die Theorie von entscheidender Bedeutung zu sein; dazu müßte gezeigt werden, daß für hinreichend kleine Wellenlängen p mit wachsender Wellenlänge zunimmt.

---

[1] Dieser Schluß wird nur unbedeutend modifiziert durch den Umstand, daß die verschiedenen Moleküle des Gases wegen der Verschiedenheit ihres augenblicklichen Energieinhalts verschiedene Energiemengen zur Zersetzung bedürfen. In der Tat ist die mittlere kinetische Energie der fortschreitenden Bewegung eines Moleküls bei gewöhnlicher Temperatur klein gegen die Zersetzungsarbeit, und nur für verhältnismäßig wenig Moleküle ist der wirkliche Wert jener Energie erheblich größer als der mittlere.

59. Aus der Tatsache, daß die Wellenlänge $\lambda = 0.253$ ozonisiert, folgt für den Zersetzungsprozeß $O_2 = O + O$ nach (3)

$$q \overline{\gtrless} \frac{1.98\,c}{0.253}, \text{ d. h. mit } c = 14300,$$

$$q \overline{\gtrless} 112000 \text{ bei Zimmertemperatur.}$$

Setzt man die Molwärme für O_2 gleich 5, für O gleich 3, so erhöht sich dieser Wert für 2000° abs. auf 114000. Hr. Nernst hat aus seinem Wärmetheorem unter Zuziehung gewisser experimenteller Daten eine Dissoziationsgleichung abgeleitet, welche für den vorliegenden Fall ergibt

$$q = 4.57\,T\left(1.75\log_{10} T + 3 - \log_{10}\frac{p_o^2}{p_{o_2}}\right)\ldots \qquad (5)$$

Hier ist T die absolute Temperatur, p_o und p_{o_2} bedeuten bzw. die Partialdrucke des O und O_2 in Atmosphären. Setzt man $T = 2000$, $q = 114000$, $p_{o_2} = 1$, so folgt $p_o = 0.014$ Atmosphären; bei 2000° abs. wäre hiernach Sauerstoff von Atmosphärendruck um mindestens 0.7 Prozent in O dissoziiert. Sollten Dissoziationsversuche einen wesentlich höheren Wert von q ergeben, so wären die Grundlagen der Gleichung (3) als unzutreffend erwiesen.

Eine ähnliche Überlegung auf die photochemische Ammoniakzersetzung angewandt ergibt die Unwahrscheinlichkeit des elementaren Zerfallprozesses $NH_3 = N + 3H$, da für diesen aus der Tatsache, daß NH_3 durch $\lambda = 0.209\mu$ zersetzt wird, ein unwahrscheinlich kleiner Wert von q hervorginge. Wahrscheinlicher ist ein Elementarprozeß wie $NH_3 = NH_2 + H$.

Synthese des Pelargonidins.

Von Richard Willstätter und László Zechmeister.

(Mitteilung aus dem Kaiser-Wilhelm-Institut für Chemie in Berlin-Dahlem.
Vorgelegt von Hrn. Beckmann.)

Nachdem die Anthocyane durch die analytische Untersuchung als Flavyliumverbindungen erkannt worden sind[1], waren die Wege für ihre Synthese durch einige neuere Untersuchungen über Cycloxoniumverbindungen vorgezeichnet, namentlich durch eine bedeutende Arbeit von H. Decker und Th. von Fellenberg[2]. In dieser sind zwei Methoden für die Synthese von Pyryliumderivaten geschaffen worden, nämlich:

1. die Addition von Grignardschen Magnesiumverbindungen an Cumarine, welche nach dem Schema verläuft:

O, =O + R . Mg . Br ⟶ Br, O, —R

2. Die Einwirkung von ortho-Oxybenzaldehyden auf Verbindungen mit der Gruppe $-CH_2-CO-$ gemäß den Formeln:

OH, CHO $+ R_1 . CH_2 . CO . R_2$ ⟶ OH, $CH = CR_1 . CO . CR_2$ ⟶ Ac, O, $-R_2$, $-R_1$

Die bisher untersuchten Anthocyanidine stehen zu den einfacheren Flavylium- oder Phenyl-Benzopyryliumverbindungen in demselben Verhältnis wie die Flavonole zu den Flavonen; sie sind sämtlich durch ein Hydroxyl in der Stellung 3 des Pyryliumkernes substituiert. Für die Einführung dieser Hydroxylgruppe ist noch keine Methode be-

[1] R. Willstätter, Sitzungsber. d. Kgl. Preuß. Akad. d. Wiss. 1914, 402; R. Willstätter und H. Mallison, Sitzungsber. d. Kgl. Preuß. Akad. d. Wiss. 1914, 769.

[2] Ann. d. Chem. 356, 281 (1907) und 364, 1 (1908).

kannt: hierin liegt eine besondere Aufgabe der Synthese von Blütenfarbstoffen.

Bei der Synthese der natürlichen gelben Beizenfarbstoffe ist eine nicht geringe Schwierigkeit in der Einführung des Flavonolhydroxyls gefunden worden. Den schönen Arbeiten von St. von Kostanecki und seinen Schülern ist zuerst der künstliche Aufbau der Flavone gelungen[1]. Aus den Dihydroverbindungen derselben, den Flavanonen, die als Zwischenprodukte der Synthese erhalten wurden, sind die Flavonole nach einem allgemeinen, älteren Verfahren für die Umwandlung von Ketonen in α-Diketone hervorgegangen[2]. Durch salpetrige Säure entstanden nämlich aus den Flavanonen Isonitrosoderivate, deren hydrolytische Spaltung zu den Diketonen führte:

Die Formel dieser α-Diketone bedeutet nur eine besondere Schreibweise der Flavonole.

Von den zwei Wegen der Pyryliumsynthese haben wir, trotzdem die Erfahrungen von Decker und v. Fellenberg wenig dazu ermutigten, die Reaktion der Cumarine mit Magnesiumarylhalogeniden angewandt, weil diese Methode den Vorzug bietet, mit einem zweckmäßig gewählten Cumarin als Ausgangsmaterial allein durch Variation des Aryls der Grignardschen Verbindungen zu einer ganzen Reihe von Anthocyanidinen zu führen.

Die Ausgangssubstanz gewinnen wir durch Kondensation von Phloroglucinaldehyd mit Glykolsäure, deren alkoholisches Hydroxyl am besten durch ein Methyl geschützt wird. In Übereinstimmung mit älteren Erfahrungen[3] über den Verlauf der Perkinschen Synthese zeigt es sich, daß die Methoxyessigsäure hinsichtlich der Kondensationsfähigkeit ihres Methylens nicht hinter der Essigsäure zurücksteht. Die Cumarinbildung wird in unserem Falle dadurch besonders glatt, daß wir auch als Kondensationsmittel die Methoxyessigsäure in Form ihres Anhydrides anwenden; das Reaktionsprodukt besteht dann

[1] Ber. d. d. chem. Ges. 32, 2448 (1899); 33, 1988 u. 3410 (1900); 37, 2625 u. 3167 (1904); 38, 931 (1905).

[2] Ber. d. D. chem. Ges. 37, 784 u. 1402 u. 2096 u. 2803 (1904); 39, 625 (1906).

[3] Vgl. z. B. die Kondensationen der Phenoxyessigsäure nach A. Oglialoro, Gazz. chim. ital. 10, 481 (1880) und der Chloressigsäure nach J. Plöchl, Ber. d. D. chem. Ges. 15, 1945 (1882).

aus einer einheitlichen Verbindung, einem Di-methoxyacetyl-methoxy-cumarin, gebildet nach der Gleichung:

$$\text{HO, OH, CHO, OH (Benzolring)} + \begin{matrix}OCH_3\\|\\CH_2\\|\\COOH\end{matrix} + 2\,(CH_3O\,.\,CH_2CO)_2O = \text{[Ring mit } COCH_2OCH_3\text{–O, O, C=O, C–}OCH_3\text{, CH, } CH_3OCH_2CO\,.\,O\text{]} + 2\,CH_3O\,.\,CH_2CO_2H$$

Für die Umsetzung mit der Magnesiumverbindung wird dieses Trioxycumarinderivat zweckmäßig umgeformt. Wir entacylieren es leicht durch Einwirkung von verdünnter Alkalilauge in der Kälte und methylieren es dann mit Hilfe von Diazomethan:

$$\text{[}CH_3OCH_2CO\,.\,O\text{, O, C=O, C–}OCH_3\text{, CH, }CH_3OCH_2CO\,.\,O\text{]} \longrightarrow \text{[HO, O, =O, –}OCH_3\text{, OH]} \longrightarrow \text{[}CH_3O\text{, O, =O, –}OCH_3\text{, }CH_3O\text{]}$$

Das auf diese Weise gut zugängliche Trimethoxycumarin kann durch die Addition von Phenol, Brenzcatechin und Pyrogallol zu den verschiedenen Anthocyanidinen führen. Als erstes Beispiel der Synthese soll die Kombination mit Anisol beschrieben werden.

Decker und v. Fellenberg haben es bei der Einwirkung von Alkylmagnesiumhalogeniden für wesentlich gehalten, die übliche Ausführung der Grignardschen Reaktion abzuändern, nämlich in einen Überschuß des Laktons die Magnesiumverbindung tropfenweise einzuführen. Das Reaktionsprodukt wurde in der Form seines Eisenchloriddoppelsalzes ausgefällt. Die Ergebnisse waren so ungünstig, daß Decker diese Methode verlassen hat[1].

Wir erzielen einen überraschend glatten Verlauf der Reaktion, ohne der von Decker und v. Fellenberg gegebenen Versuchsanordnung zu folgen; im Gegenteil wenden wir das Grignardsche Reagens im Überschuß an. Aus Trimethoxycumarin und Anisylmagnesiumbromid entsteht ein Niederschlag, der mit 20prozentiger Salzsäure zersetzt wird. Die saure Schicht färbt sich tief rot und scheidet in guter Ausbeute die Kristalle des Anisyltrimethoxypyryliumsalzes ab.

$$\text{[}CH_3O\text{, O, =O, –}OCH_3\text{, }CH_3O\text{]} + \text{[MgBr, }OCH_3\text{]} \longrightarrow \text{[}CH_3O\text{, O, O . MgBr, –}OCH_3\text{, }OCH_3\text{, }CH_3O\text{]} \longrightarrow \text{[Cl, }CH_3O\text{, O, –}OCH_3\text{, }OCH_3\text{, }CH_3O\text{]}$$

[1] Vgl. H. Decker und P. Becker, Ber. d. D. chem. Ges. 47, 2288 (1914).

Die Verbindung ist ein anthocyanähnlicher Farbstoff; infolge der Ätherifizierung aller Phenolhydroxyle unterscheidet sie sich aber von den Blütenfarbstoffen, welche uns bekannt sind, durch geringere Basizität und durch das Fehlen saurer Eigenschaften. Die rote Lösung der Substanz in Säuren wird von Alkalien entfärbt.

Diesen Methyläther haben wir durch Erhitzen mit Jodwasserstoff entmethyliert und das aus der Säure kristallisierende Jodid in das salzsauere Salz umgewandelt. Das erhaltene Oxyphenyl-trioxybenzopyryliumchlorid stimmt vollkommen überein mit dem Chlorid von Pelargonidin, der Farbstoffkomponente des Pelargonienanthocyans, welches von R. Willstätter und E. K. Bolton[1] untersucht worden ist. Die Identität des synthetischen Farbstoffs mit dem natürlichen ist durch die Analyse und den Vergleich der Absorptionsspektra, der Kristallformen, Löslichkeit und Reaktionen festgestellt worden.

Die Synthese bestätigt die Konstitutionsformel

welche dem Pelargonidin auf Grund seiner Spaltung durch Alkalien in p-Oxybenzoesäure und Phloroglucin und gemäß seiner Analogie mit dem Cyanidin zugeschrieben worden ist.

5. 7-Di-methoxyacetyl-3-methoxy-cumarin, $C_{16}H_{16}O_9$.

Wir führen die Bildung des Cumarins und zugleich die Azetylierung seiner beiden freien Hydroxyle aus, indem wir Phloroglucinaldehyd (25 g) mit drei Molen methoxyessigsauren Natriums (55 g) und mit überschüssigem Methoxyessigsäureanhydrid (200 g d. i. 7½ Mole) drei Stunden lang auf 150 bis 155° erhitzen; dieses Anhydrid ist durch Einwirkung von Phosphoroxychlorid auf das Natriumsalz der Säure gewonnen worden, es ist eine Flüssigkeit vom Siedepunkt 124 bis 128° unter 20 mm Druck.

Das Reaktionsprodukt erstarrt beim Erkalten kristallinisch; durch Verreiben mit Eiswasser wird unverändertes Anhydrid hydrolysiert und durch wiederholtes Ausziehen mit heißem Wasser das beigemischte Acetat entfernt. Dann kristallisiert man die Substanz, welche in Wasser und in Äther unlöslich und in Alkohol auch in der Wärme schwer löslich ist, aus etwa 6 L absoluten Alkohols um. Sie scheidet sich in langen farblosen Prismen vom Schmelzpunkt 170—71° (korr.) aus;

[1] Die Arbeit über Pelargonin wird als vierte der Untersuchungen über Anthocyane in den Annalen der Chemie erscheinen.

die Ausbeute an umkristallisierter Substanz beträgt 28 g d. i. fast die Hälfte der Theorie.

0.2520 g gaben 0.5037 g CO_2 und 0.1053 g H_2O

Ber. für $C_{15}H_{16}O_9$	Gefunden
C 54.52	54.51
H 4.58	4.68

5. 7-Dioxy-3-methoxy-cumarin, $C_{10}H_8O_5$.

Übergießt man die Acetylverbindung mit normaler Natronlauge, so färben sich die Kristalle gelb und gehen allmählich mit intensiver gelber Farbe in Lösung. Das Gelb verblaßt dann und es bleibt nur die bräunliche Farbe einer alkalischen Phenollösung bestehen. Bei dieser Reaktion findet zunächst, und zwar sehr schnell, die Ablösung beider Methoxyacetylgruppen statt; auch bei raschem Ansäuern tritt keine Monoacetylverbindung auf. Sodann wird das Lacton hydrolysiert, allein beim Ansäuern bildet es sich sofort aus der Oxysäure zurück.

Wir ließen auf 15 g der Diacetylverbindung einen Liter n-Natronlauge einwirken und schüttelten $\frac{3}{4}$ Stunden lang. Beim Ansäuern kristallisierte die neue Substanz in dünnen Prismen aus. Sie wird aus Wasser, worin sie in der Hitze leicht, in der Kälte viel schwerer löslich ist, umkristallisiert. Dabei beobachtet man zwei verschiedene Kristallformen, Prismen und rhombenförmige Täfelchen. In Alkohol ist die Substanz in der Kälte ziemlich leicht, in der Wärme leicht löslich, in Äther schwer. Sie schmilzt unter Zersetzung bei 280—285° (korr.), bräunt sich aber zuvor.

Von verdünnter Natronlauge wird dieses Oxycumarin sofort gelöst mit schön gelber Farbe, die in einigen Minuten verblaßt.

0.1998 g verloren zum großen Teil im Exsikkator, vollständig bei 100° 0.0287 g

Ber. für $C_{10}H_8O_5 \cdot 2H_2O$	Gefunden
$2H_2O$ 14.76	14.36

0.1634 g gaben 0.3460 g CO_2 und 0.0576 g H_2O

Ber. für $C_{10}H_8O_5$	Gefunden
C 57.67	57.75
H 3.88	3.94

3. 5. 7-Trimethoxycumarin, $C_{12}H_{12}O_5$.

Die Methylierung geschieht mit einer ätherischen Lösung von Diazomethan; da die Löslichkeit der Dioxyverbindung in Äther nicht hinreicht, lösen wir die bei 100° getrocknete Substanz in Aceton (4 g

in 170 ccm) und vermischen sie mit einem Überschuß, nämlich mit 100 g, von 4prozentiger Diazomethanlösung. Die heftige Reaktion wird durch Kühlung mit Eiswasser gemäßigt. In einer halben Stunde beginnt der Methyläther reichlich auszukristallisieren (Ausbeute 3 g). Er unterscheidet sich durch seine Indifferenz gegen Alkalilauge in der Kälte von den beiden oben beschriebenen Cumarinen, von denen das erstere den gleichen Schmelzpunkt hat wie die Trimethylverbindung. Diese wird erst in der Wärme ohne Farberscheinung von Natronlauge gelöst, indem die Lactonbindung sich öffnet.

Das Trimethoxycumarin ist in heißem Alkohol leicht, in kaltem ziemlich schwer löslich und läßt sich daraus gut umkristallisieren: in Äther ist es ziemlich schwer, in Benzol sehr leicht löslich. Es bildet Prismen und längliche rechteckige Täfelchen vom Schmelzpunkt 171—172° (korr.).

0.1763 g gaben 0.3958 g CO_2 und 0.0844 g H_2O
0.1340 g » 0.3966 g AgJ (nach ZEISEL)

Ber. für $C_{12}H_{12}O_5$	Gefunden
C 60.99	61.23
H 5.12	5.36
3 OCH_3 39.4	39.1

Bildung des Pelargonidins.

Wir ließen auf Trimethoxycumarin etwa drei Moleküle von Anisylmagnesiumbromid einwirken. Die GRIGNARDsche Lösung wurde aus 3.75 g p-Bromanisol in 60 ccm Äther mit überschüssigem Magnesium bereitet, dessen Reaktion wir durch reichlichen Zusatz von Jod eingeleitet haben. Die gebildete Lösung wurde von unangegriffenem Magnesium dekantiert, mit Benzol auf 100 ccm verdünnt und in einer Stöpselflasche zur Lösung von 1 g des Cumarins in 200 ccm Benzol hinzugefügt. Dabei entstand eine blaßgelbe Ausscheidung und die Reaktion war in einigen Minuten beendigt. Das Produkt, eine Magnesiumverbindung der Pseudobase, verwandelte sich bei der Einwirkung von Mineralsäuren rasch in Oxoniumsalz, z. B. bei kräftigem Schütteln mit (35 ccm) 20prozentiger Salzsäure. In der wässerigen Schicht zeigte sich sofort Rotfärbung, in den folgenden Sekunden wurde die Flüssigkeit dunkelrot. Um das organische Lösungsmittel zu entfernen, fügten wir noch Äther hinzu, dekantierten die ätherische Schicht und wiederholten dies einige Male. Währenddessen kristallisierte aus der Säure das Farbsalz in Garben langer Prismen, die unter dem Mikroskop bläulichrot erscheinen. Der Äther wurde an der Pumpe verjagt und das Chlorid auf dem Filter mit Salzsäure gewaschen; die Substanz behält

dabei einen bedeutenden Gehalt von Magnesiumchlorid. Die Ausbeute beträgt 0.8—1 g Farbstoff, durchschnittlich 60 Prozent der Theorie.

Das Chlorid des Pelargonidintetramethyläthers ist in verdünnter, schon in 1prozentiger, Salzsäure in der Kälte fast unlöslich, beim Erwärmen ziemlich leicht löslich; auf Zusatz von konzentrierter Salzsäure kristallisiert es in schönen dünnen Prismen wieder aus. In warmem Alkohol und in Amylalkohol löst es sich leicht mit roter und zwar viel mehr gelbroter Farbe als Pelargonidinchlorid. Bei der Einwirkung von Wasser, noch leichter von Natriumcarbonat, erleidet das Chlorid die Isomerisation zur Pseudobase wie die Anthocyanidine; beim Übergießen mit Wasser wird die Substanz violett und ein Teil geht in Lösung. Diese ist ziemlich hell und sie wird farblos beim Erwärmen. Auf Zusatz von Salzsäure kehrt die orangerote Farbe zurück.

Entmethylierung.

Es hat sich in mehreren Vorversuchen gezeigt, daß der Farbstoff nach langem Erhitzen des Methyläthers mit Jodwasserstoffsäure nur in sehr geringer Menge auskristallisiert. Auch zeigten die Präparate dieser ersten Versuche nach der Umwandlung in das Chlorid einen Unterschied vom Pelargonidin im Verhalten gegen Wasser. Sie wurden damit allmählich blauviolett und gingen zum Teil mit derselben Farbe in Lösung. Ähnliches haben wir auch an einem Präparate von natürlichem Pelargonidin nach längerem Kochen mit Jodwasserstoff beobachtet.

Als wir aber die Behandlung mit Jodwasserstoffsäure tunlichst abkürzten, ist es gelungen, das synthetische Präparat in demselben Zustand der Reinheit zu gewinnen wie den natürlichen Farbstoff und in allen Merkmalen bei direktem Vergleich mit diesem übereinstimmend.

Wir erhitzten 0.7 g der Tetramethylverbindung mit 40 ccm Jodwasserstoffsäure vom spez. Gew. 1.7 unter Zusatz von 6 g Phenol zehn Minuten im offenen Kölbchen des Apparates für die Methoxylbestimmung zu lebhaftem Sieden. Dann erst verbanden wir den Kolben mit dem Kühler und der Vorlage und erhitzten weitere 20—25 Minuten unter Durchleiten von Kohlensäure, bis die vorgelegte Silberlösung klar geworden war. Nach dem Erkalten kristallisierten 0.2 g jodwasserstoffsauren Salzes aus in dicken Prismen und Täfelchen, die unter dem Mikroskop gelbbraun waren. Wir verwandelten dieses Salz in das Chlorid, indem wir es in Alkohol unter Zusatz von etwas Chlorwasserstoff lösten und mit gefälltem Chlorsilber schüttelten. Das Filtrat wurde mit einem Drittel Volumen 7prozentiger Salzsäure vermischt; beim Verdampfen des Alkohols auf dem Wasserbad bildete

das Farbsalz eine einheitliche Kristallisation in einer für Pelargonidinchlorid charakteristischen Form, nämlich in rotbraunen, derben, oft gerade abgeschnittenen vierseitigen Prismen.

Das Chlorid läßt sich, wie es bei dem Pelargonidinsalz gefunden worden ist, erst bei 100° im Hochvakuum vollständig entwässern. Es wird dabei dunkelbraun und sehr hygroskopisch.

0.1043 g verloren bei 105° 0.0044 g
4.734 mg gaben 1.962 mg AgCl (nach Pregl)

Ber. für $C_{15}H_{11}O_5Cl \cdot H_2O$	Gefunden
H_2O 5.55	4.23
Cl 10.93	10.25

0.0969 g (wasserfrei) gaben 0.2076 g CO_2 und 0.0349 g H_2O.

Ber. für $C_{15}H_{11}O_5Cl$	Gefunden[1]
C 58.72	58.43
H 3.62	4.03

Das synthetische Pelargonidinchlorid löst sich wie das natürliche in Wasser in der Kälte beträchtlich, in der Wärme leicht mit dunkelgelbroter Farbe. In verdünnter Salzsäure und Schwefelsäure ist es in der Kälte schwer, in der Hitze leicht löslich. Auch in Alkohol löst es sich sehr leicht und zwar mit schöner violettstichig roter Farbe; auf Zusatz von viel heißem Wasser erfolgt, ohne daß eine Fällung eintritt, die Isomerisation zur Pseudobase. Die amylalkoholische Lösung wird beim Schütteln mit Natriumacetat violett, und sie gibt an Natriumcarbonat die Substanz mit blauer Farbe ab. Eine charakteristische Eisenchloridreaktion zeigt die Substanz nicht.

Den Vergleich der Spektra haben wir mit den Lösungen von 0.007 g Chlorid in 50 ccm Alkohol (etwa 1 Mol in 2500 l) ausgeführt.

		Synthetischer Farbstoff	Natürlicher Farbstoff
2.5 mm Schicht . . .	Band I	578 . . 569—490 . . 482	579 . . 569—491 . . 483
» » . . .	» II	448 . . 440—	448 . . 442—
5 mm » . . .	» I	584 . . 574—473 .	588 . . 576—471 .
» » . . .	» II	448—	448—

[1] Die hygroskopische Substanz, aus dem Trocknungskölbchen in das Schiffchen gewogen, hat in diesem etwas Wasser angezogen.

Die Verwendung radioaktiver Substanzen zur Zerstörung lebender Gewebe.

Von Oscar Hertwig.

(Vorgetragen am 16. Juli 1914 [s. oben S. 791].)

Hierzu Taf. III.

Seit einem Jahr hat die Verwertung radioaktiver Substanzen für Heilzwecke in der Medizin einen plötzlichen Aufschwung und eine ganz überraschende Bedeutung gewonnen. Veranlaßt durch dringliche Gesuche der Direktoren von Krankenhäusern, haben einzelne Staaten und viele größere Städte namhafte Summen für Anschaffung von Radium- und Mesothoriumpräparaten verausgabt. Die Radiumtherapie spielt augenblicklich in der medizinischen Literatur eine so große Rolle, daß auch politische Zeitungen sich häufig mit ihr beschäftigt und sie zu einer Tagesfrage gemacht haben.

Was den radioaktiven Substanzen ihre hohe Wertschätzung in der Medizin verschafft hat, ist besonders die eigentümliche Art, in der sie zerstörende Wirkungen auf lebende Gewebe ausüben. In dieser Hinsicht gibt es keine chemische Substanz, die sich ihnen an die Seite stellen ließe. Radiumtherapie ist daher hauptsächlich auf die Entfernung krankhafter Körperteile durch zweckmäßige Anwendung der β- und γ-Strahlen gerichtet. Neubildungen aller Art, gutartige und namentlich bösartige Geschwülste, hofft man jetzt mit Hilfe der Strahlentherapie viel besser und radikaler beseitigen zu können, als es mit dem Messer des Chirurgen möglich ist. Die Hoffnung gründet sich auf die oben erwähnte Eigenart, mit welcher die β- und γ-Strahlen auf die verschiedenen Gewebe des Körpers eine Wirkung ausüben. Dieselbe ist nämlich eine sehr ungleiche oder wie man sich gewöhnlich ausdrückt, eine elektive. Die Strahlen treffen gewissermaßen eine Auswahl zwischen den lebenden Teilen, die sie beeinflussen und bald mehr, bald minder schädigen. Embryonale Gewebe leiden unter ihnen mehr als ausgewachsene. Daher werden Lymph-

und Blutkörperchen und die Organe, in denen sie sich als vorwiegender Bestandteil finden (Milz, Lymphfollikel, Rotes Knochenmark), ebenso alle Arten von Keimzellen, Eier und Samenfäden, und die Schichten der Organe, von denen ihr Wachstum ausgeht, durch Bestrahlung verändert, während Stützsubstanzen, wie Bindegewebe, Knorpel und Knochen, Muskelfasern, auf sie weniger oder nicht zu reagieren scheinen. Zu den gegen Bestrahlung besonders empfindlichen und daher leichter zu schädigenden Elementen gehören nun auch die Zellen der Geschwülste; sie gleichen hierin den Embryonalzellen, mit denen sie ja auch schon in ihrer Eigenschaft, sich durch Teilung unbegrenzt vermehren zu können, übereinstimmen.

Die elektive Wirkung der Strahlung radioaktiver Substanzen ist ein Gegenstand von allgemein biologischem Interesse. Mit ihrer Untersuchung habe ich mich seit einigen Jahren ebenfalls beschäftigt und über ihre Ergebnisse schon in mehreren Mitteilungen an die Akademie berichtet. Wie ich in ihnen durch Versuche nachgewiesen habe und wie jetzt wohl allgemein auch anerkannt ist, sind es in erster Linie die wichtigen Substanzen des Zellenkerns, welche durch die Bestrahlung in schädlicher Weise beeinflußt werden. Und da gerade der Kern bei der Teilung der Zelle die Hauptrolle spielt, wird es auch begreiflich, daß embryonale, zu häufig wiederholter Teilung befähigte Zellen am meisten in ihrem Lebensprozeß unter dem Einfluß radioaktiver Strahlen leiden, daß dagegen ausgewachsene, schon mehr oder minder vermehrungsunfähig gewordene Zellen nicht angegriffen zu werden scheinen.

Besonders deutlich trat die elektive Wirkung in meinen Versuchen an tierischen Ei- und Samenzellen hervor. Wie ich zu meiner Überraschung feststellen konnte, reicht schon die kurze Zeit von 2 bis 5 Minuten hin, um durch sehr schwache Radiumdosen eine dauernde Schädigung in der Kernsubstanz von Samenfäden der Amphibien, die ich zu meinen Versuchen benutzte, hervorzurufen. Denn wenn mit ihnen vollkommen gesunde Eier befruchtet werden, so wird ihre anfangs normal beginnende Entwicklung je nach der Intensität der Bestrahlung des befruchtenden Samenfadens pathologisch verändert. Entweder sterben sie schon auf frühen Embryonalstadien, auf der Keimblase, der Gastrula usw. ab, oder sie liefern monströse Larven, die an vielen Stellen Störungen und Zerfallserscheinungen darbieten und daher auch schließlich als Ganzes zerfallen. Durch die Befruchtung hat der Samenfaden die Schädigung, die er in seiner Konstitution schon vorher durch sehr geringe Strahlendosen erfahren hat, als Mitgift auf das Ei übertragen und es dadurch, um mich einer bildlichen Ausdrucksweise zu bedienen, auch radiumkrank gemacht,

obwohl es von keinem einzigen β- und γ-Strahl getroffen worden ist. Dadurch wird die Entwicklung des Eies zu einem empfindlichen Reagens, an welchem sich die durch die Bestrahlung des Samenfadens hervorgerufene Wirkung abmessen läßt. Daß diese dem ganzen Inhalte des so erheblich größeren Eies durch den vieltausendmal kleineren Samenfaden mitgeteilt wird, läßt sich aus unserer Kenntnis der Erscheinungen des normalen Befruchtungs- und Furchungsprozesses leicht verstehen. Denn die radiumkranke Kernsubstanz des befruchtenden Samenfadens vermehrt sich durch den Prozeß der Karyokinese während der Entwicklung ebenso wie die Substanz des Eikerns. Infolgedessen erhält der Kern jeder Embryonalzelle außer der gesunden Substanz, die vom Eikern abstammt, auch eine vom Samenkern herrührende Dose bestrahlter Kernsubstanz. Diese ruft dann im weiteren Verlauf früher oder später den Zerfall der Embryonalzellen hervor.

Die besondere Empfindlichkeit der Keimzellen gegenüber den Strahlen der radioaktiven Substanzen läßt sich auch benutzen, wie schon öfters geschehen ist, um zeugungskräftige Tiere unfruchtbar zu machen. Wenn man mit Röntgenstrahlen, die für diese Zwecke besser geeignet sind, die weiblichen oder männlichen Keimdrüsen der Versuchstiere durch die übergelagerten Weichteile, wie Haut und Muskulatur, hindurch in Intervallen und in passender Dosierung öfters bestrahlt, so kann man in ihnen die Eier bzw. Samenfäden auf den verschiedenen Stufen ihrer Ausbildung vollkommen zerstören, ohne das Leben des Versuchstiers zu gefährden. Bei späterer Vornahme einer mikroskopischen Untersuchung von den bestrahlten Keimdrüsen läßt sich der Untergang aller Eier und aller samenbildenden Zellen feststellen. Nur die nebensächlichen Gewebe in den Eierstöcken und Samenröhrchen, Bindegewebe mit Blutgefäßen, Follikel- und Sertolische Zellen sind erhalten geblieben.

Wenn in einer den Keimzellen entsprechenden Weise eine elektive Wirkung auch gegenüber den Geschwulstzellen bestünde, und wenn zugleich eine Schädigung anderer Gewebe vermieden und ausgeschlossen werden könnte, so müßte in der Tat die Strahlentherapie a priori als ein ideales Heilmittel für Geschwulstkrankheiten bezeichnet werden. Aber wie es bei den meisten Heilmitteln zu sein pflegt, in der Wirklichkeit stellen sich immer einige »Wenn und Aber« ein und lassen die Erfolgsmöglichkeiten in einem etwas anderen Licht erscheinen. Eine solche Schwierigkeit erwächst zum Beispiel schon daraus, daß, wenn auch die Strahlen radioaktiver Substanzen eine elektive Wirkung auf einzelne Zellarten ausüben, deswegen doch auch die weniger empfindlichen Zellen gegen den Eingriff nicht ganz gefeit sind; auch sie erleiden, zumal bei längerer Dauer, Schädigungen in ihrem

Lebensprozeß und werden schließlich abgetötet. Um dies zu demonstrieren, habe ich gelegentlich einige Versuche an pflanzlichen und tierischen Geweben angestellt, die ich zum Gegenstand meiner heutigen Mitteilung mache.

Als pflanzliche Objekte benutzte ich ausgewachsene Blätter von *Hedera helix* und *Sedum spectabile*. Die Efeublätter wurden an einer im Topf gezogenen Pflanze bestrahlt, indem ein Zweig auf eine Tischplatte herabgezogen und befestigt wurde. Das zur Bestrahlung bestimmte Efeublatt wurde mit einem schmalen Papierstreifen glatt ausgebreitet und auf seine obere Seite entweder in der Mitte des Blattnerven oder links und rechts von ihm eine Kapsel mit Radium oder Mesothorium aufgelegt. Damit sie nicht das Blatt selbst berührte, kam sie auf ein aus schmalen Holzleisten angefertigtes und darüber geschobenes Gestell zu liegen. Ihr Abstand betrug dann etwa noch ½ cm. Die Bestrahlung mit Mesothorium dauerte 10—12 Stunden. Bei Abnahme der Kapsel ist keine Veränderung an der bestrahlten Gegend zu bemerken, auch nicht am nächstfolgenden Tag. Erst nach 48 Stunden macht sich ein runder Fleck durch seine etwas schmutzig dunkelgrüne Färbung bemerkbar; er ist etwa von der Größe des mit Mesothorium gefüllten Hohlraums der Kapsel und grenzt sich mit einer scharfen Linie gegen die normal gefärbte Umgebung ab. An den folgenden Tagen nimmt er eine dunkelbraune Farbe an, sein Durchmesser beträgt 0.8 cm (Taf. III Fig. 1); vom gewöhnlichen Blattgrün hebt er sich jetzt noch dadurch schärfer ab, daß in seiner Umgebung das Chlorophyll sich in ein helles Gelbgrün verfärbt hat und ihn mit einem besonderen hellen 0.2 cm breiten Ring umgibt. Die durch Mesothorium hervorgerufene Veränderung geht durch die ganze Dicke des Efeublattes hindurch; denn dieselbe Verfärbung wie an seiner oberen ist bald auch an seiner unteren Fläche mit derselben Deutlichkeit eingetreten. Der Befund bleibt in dieser Weise mehrere Wochen ziemlich unverändert bestehen. Dann beginnt der bestrahlte Bezirk allmählich einzutrocknen, was sich wieder an einer Veränderung der Färbung erkennen läßt (Fig. 2). Denn er wird gelbbraun, vergleichbar dem Kolorit von trockenen Tabakblättern; gegen das noch nicht abgestorbene und eingetrocknete Gewebe ist er durch eine dunkelbraune Demarkationslinie scharf abgegrenzt. Der eingetrocknete Blattnerv mit den abgehenden Seitennerven markiert sich jetzt gleichfalls schärfer durch seine dauernd braune Farbe. Der nekrotisch gewordene Fleck ist von einem 0.7 cm breiten, gelbgrünen Ring umgeben, ehe das normale sattgrüne Gewebe beginnt.

An Blättern, bei denen die Bestrahlung schon vor 7 Wochen vorgenommen worden war, hat sich die nekrotisch gewordene und ein-

getrocknete Stelle noch langsam weiter ausgedehnt. Denn aus dem ursprünglich bestrahlten Fleck von 0.7 cm Durchmesser ist nachträglich noch ein eingetrockneter Bezirk von 1.4 und selbst 1.7 cm entstanden. Auch er ist von einer hellen, grüngelben Zone umgeben, ehe das normalgefärbte Gewebe beginnt. Von der Bestrahlungsstelle abgesehen, zeigten die Efeublätter gewöhnlich das normale Aussehen. In einigen Fällen war nur die Blattspitze über dem Mittelnerv braun und trocken geworden, aber immer nur dann, wenn dieser im Bereich der Bestrahlung lag und dadurch die Saftströmung aufgehoben worden war.

Das zweite pflanzliche Objekt, Sedum, wählte ich wegen der dicken und fleischigen Beschaffenheit seiner Blätter. Die Bestrahlung mit Mesothorium wurde in derselben Weise und ebensolange wie beim Efeu ausgeführt. Nach Entfernung der Kapsel ist ebenfalls keine Veränderung zu bemerken. Erst nach 2 Tagen läßt sich der bestrahlte Bezirk dadurch, daß seine Oberfläche fein runzelig geworden ist, gegen die normale Umgebung unterscheiden. Noch einige Tage später beginnt er auch etwas vertieft zu werden; doch ist der Boden der flachen Delle noch immer grün gefärbt. In den folgenden Tagen nimmt die Vertiefung immer mehr zu. Das Chlorophyll fängt an zu verblassen und schließlich ganz zu verschwinden. Nach einer und mehr Wochen ist der bestrahlte Bezirk in einem Durchmesser von 0.8 cm ganz abgestorben und zu einem dünnen, gelb gefärbten durchsichtigen Häutchen eingetrocknet, das den Boden einer tiefen runden Grube im Blatt bildet (Fig. 3). Es ist von der oberen und unteren Fläche gleich gut zu sehen. Von einem grün gefärbten, dicken Rand umgeben ist es wie eine runde Fensterscheibe im fleischigen Blatte ausgespannt. Im Laufe von 3 Wochen sind an den Blättern, nachdem einmal der bestrahlte Bezirk die beschriebene Beschaffenheit angenommen hat, keine weiteren Veränderungen eingetreten. Nur in einem Falle, wo die gelb gewordene, abgestorbene Stelle sich zu nahe dem Blattrande befand, ist auch der nach dem Rande zu gelegene Teil der Einfassung später noch abgestorben und eingetrocknet.

Wie ohne Frage aus diesen Versuchen hervorgeht, werden durch Radium- und Mesothoriumdosen, die noch schwächer sind als die öfters in der Medizin verwandten und auch kürzere Zeit eingewirkt haben, vollkommen ausgewachsene Pflanzengewebe, deren Zellen sich für gewöhnlich nicht mehr teilen, mit Sicherheit abgetötet. Die Radiumkapsel wirkt wie ein Brennglas. Durch die von ihr ausgesandten Strahlen ist ein Loch in das Pflanzenblatt hineingebrannt worden; dieses grenzt sich von dem außerhalb des Strahlenbereichs gelegenen und normal gebliebenen Gewebe so scharf ab, als ob es mit einem Locheisen herausgeschlagen worden wäre.

Dieselbe Wirkung wie mit dem starken Mesothoriumpräparat von 55 mg läßt sich mit einem schwächeren Radiumpräparat von nur 7.4 mg erzielen; nur muß dann die Bestrahlung auf eine entsprechend längere Zeit, bei meinen Versuchen von 12 auf 24 Stunden, ausgedehnt werden. Auf diese Weise habe ich auch bei Verwendung einer kleinen Radiumkapsel, sowohl in Efeu- wie in Sedumblätter, 0.4 mm große Löcher, die mit abgestorbenem und eingetrocknetem Gewebe ausgefüllt waren, hineingebrannt.

Wenn ich zu den Versuchen am Tier übergehe, so dienten mir hierzu größere Kaulquappen, bei denen schon die hinteren Extremitäten sich in die einzelnen Abschnitte zu gliedern begannen, und kleinere Axolotllarven von 2.3 cm Länge. Um einen bestimmten Körperteil bestrahlen zu können, müssen die Tiere, ohne sie zu schädigen, vorübergehend unbeweglich gemacht werden. Das läßt sich in 5 bis 10 Minuten erreichen, wenn man sie in Wasser bringt, dem Kokain zugesetzt ist, so daß etwa eine 0.01 prozentige Lösung entsteht. Die Kaulquappen werden rasch träger und führen bald auch beim Berühren mit einem Glasstab keine Schwimmbewegungen mehr aus. Jetzt werden sie zur Entfernung der Kokainlösung in ein Gefäß mit reinem Wasser gebracht und dann gleich zum Versuch benutzt. Um sie zu bestrahlen, bringt man sie auf eine dünne, genügend große Glimmerplatte in die gewünschte, glatt gestreckte Lage, befeuchtet sie nur mit einem kleinen Wassertropfen, legt die Glimmerplatte auf die Mesothorium- oder Radiumkapsel auf und orientiert sie so, daß das Schwanzende sich etwa in der Länge eines halben Zentimeters im Strahlungsfeld befindet. Damit die Larven mit Wasser benetzt bleiben, wird das ganze Präparat in eine feuchte Glaskammer gestellt. Die Bestrahlung wurde mit dem Mesothoriumpräparat auf 1 Stunde, mit der schwächeren Radiumkapsel auf 2 Stunden festgesetzt. Die Tiere bleiben in dieser Zeit absolut unbeweglich, so daß nur das in den Strahlenbereich gebrachte Schwanzende mit dem Flossensaum gleichmäßig und kontinuierlich bestrahlt wird. Nach Beendigung des Versuchs werden die Glimmerplättchen mit den Larven in größere Gefäße mit frischem Wasser gebracht. Die durch die Kokainbehandlung hervorgerufene Starre und Unempfindlichkeit hält gewöhnlich noch einige Zeit an; nach und nach beginnen die Larven erst schwache, dann immer kräftiger werdende Schwimmbewegungen auszuführen und sind bald nicht mehr von unbehandelten Tieren zu unterscheiden; auch fangen sie an, wieder in gewöhnlicher Weise Nahrung aufzunehmen.

Nach dem Versuch kann man sich bei mikroskopischer Untersuchung davon überzeugen, daß im durchsichtigen, bestrahlt gewesenen Flossensaum das Blut noch in dem Netzwerk der Kapillargefäße in

üblicher Weise zirkuliert. Nach 1 bis 2 Tagen ist dagegen die Zirkulation in einigen Kapillaren, die dann mit roten und weißen Blutkörperchen angefüllt sind, zum Stillstand gekommen. Die Bestrahlung hat daher die Gefäßwand geschädigt und dadurch diesen Teil der Blutbahn unwegsam gemacht. Nur in den größeren Gefäßen des muskulösen Teiles der Schwanzspitze ist die Zirkulation noch im Gang.

Allmählich läßt der bestrahlte Teil der Schwanzspitze nach Ablauf einiger Tage noch weitere Veränderungen erkennen. Er beginnt zu atrophieren. Von der Atrophie wird der Flossensaum, welcher als durchsichtige Platte das Ende der Körperachse umsäumt, zunächst betroffen. Während derselbe im unbestrahlten Bezirk mit dem Wachstum der Larve sich gleichfalls vergrößert, bleibt er am Schwanzende nicht nur im Wachstum stehen, sondern verkleinert sich sogar durch Schrumpfung. Die Kontur des Flossensaums wird daher am Schwanzende, wo die Strahlung begonnen hat, immer mehr eingezogen. Bei der schwächeren Bestrahlung mit dem Radiumpräparat findet sich dann nach 10—14 Tagen nur noch ein feiner, kaum wahrnehmbarer Saum an dem Teil der Schwanzspitze, der das Ende des Rückenmarks, der Chorda und eine Anzahl von Muskelsegmenten enthält. Es haben sich daher nur noch die Achsenorgane, wahrscheinlich aber auch nur in atrophischem Zustand, erhalten und springen als feine Spitze noch eine kleine Strecke weit über das abgestumpfte verkürzte Ende des Flossensaums hervor. Bei dem stärkeren Mesothoriumpräparat aber hat sich die vollständige Atrophie auch auf das Ende des Rückenmarks, der Chorda und auf die letzten Muskelsegmente erstreckt. Alle diese Teile sind hier mit der gallertigen Flossenplatte allmählich eingeschmolzen worden.

Im Vergleich mit normalen gleichaltrigen Tieren sind daher die Kaulquappen um $\frac{1}{2}$ cm kürzer geworden infolge des langsam Schritt für Schritt erfolgten Untergangs des bestrahlten Körperteils. Dementsprechend ist auch die äußere Form des Ruderschwanzes verändert. Anstatt wie bei normalen Tieren sich allmählich zu verjüngen und zuzuspitzen, hört er plötzlich mit einer breiten Abrundung auf.

5 Kaulquappen, die auf die angegebene Weise bestrahlt, dann 7, 10 und 16 Tage nach der Bestrahlung abgetötet und auf photographischem Wege bei dreifacher Vergrößerung abgebildet worden sind, können uns als beweisende Beispiele dienen. Fig. 4 zeigt uns neben einer gleichaltrigen normalen eine zweite Kaulquappe (a), deren Schwanzspitze 2 Stunden lang mit einer Radiumkapsel von 7.4 mg bestrahlt worden ist. Nach 7 Tagen ist der bestrahlte Teil zum Schwund gebracht worden. Während beim normalen Tier die Achse des Ruderschwanzes, die sich aus Rückenmark, Chorda und Muskelsegmenten

zusammensetzt, allmählich in einer feinen Spitze ausläuft, umgeben vom durchsichtigen Flossensaum, fehlt dieser Abschnitt beim bestrahlten Tier. Die Schwanzachse endet als verdickter Höcker und springt über den hintern Rand des Flossensaums, der breit und abgerundet aufhört, frei vor.

Die 4 Kaulquappen der Figuren 5 und 6 hatten ein etwas höheres Alter erreicht, als ihr Schwanzende bestrahlt wurde. Es läßt sich dies nicht nur an ihrer beträchtlicheren Größe, sondern auch an dem Entwicklungsgrad ihrer hintern Extremitäten erkennen. Während diese in Fig. 4 noch kurze zylindrische Stäbe sind, haben sie in Fig. 5 und 6 an Länge zugenommen und sich in Oberschenkel, Unterschenkel und Fuß mit den Zehen differenziert. In Fig. 5 ist die eine Larve (*b*) mit Mesothorium 1 Stunde, die andere (*a*) mit Radium 2 Stunden bestrahlt worden. 10 Tage nach der Behandlung wurden sie abgetötet. Bei beiden ist das Schwanzende um den bestrahlten Teil verkürzt. Bei der Larve 5*b* ragt die geschrumpfte Skelettachse wieder über den Rand des Flossensaums als kleiner Höcker frei hervor.

In Fig. 6 ist neben den zwei bestrahlten noch eine normale Larve zum Vergleich abgebildet. Die ersteren wurden 16 Tage nach der Behandlung abgetötet. Fig. 6*c* war 2 Stunden mit Radium 7.6 mg, 6*b* mit 55 mg Mesothorium bestrahlt worden. Die Verkürzung und veränderte Form des Schwanzendes ist beim Vergleich mit dem normalen Tier (6*a*) sofort zu erkennen. Es fehlt der zugespitzte Endabschnitt der Schwanzachse. In dem mit Mesothorium bestrahlten Tier (*b*) ist der Flossensaum in noch größerer Ausdehnung als in *a* geschwunden.

Aus den angeführten Versuchen geht hervor, daß schon nach 1 bis 2 stündiger Bestrahlung eine vollständige Rückbildung von ganzen Körperabschnitten herbeigeführt werden kann. Hierbei werden von der Rückbildung die verschiedenartigsten Gewebe betroffen: Gallertsubstanz, Epithel, Blutgefäße, Chorda, Rückenmark, quergestreifte Muskelfasern.

Wie ich in den einleitenden Worten meiner heutigen Mitteilung mit der Radiumtherapie begonnen habe, kehre ich zu ihr auch in einigen Schlußbetrachtungen noch einmal zurück. Von Ärzten, die Erfahrungen auf den Gebieten der Röntgen- und Radiumbehandlung besitzen, werden die Gefahren, die mit ihr verbunden sind, zuweilen der Szylla und Charybdis verglichen.

Wenn wir an diesem Vergleiche festhalten, so möchte ich als die Szylla die Eigenschaft der radioaktiven Substanzen bezeichnen, daß sie nicht nur elektiv zerstörend auf die Geschwulstzellen wirken, die wir behufs Heilung des Patienten entfernen wollen, sondern überhaupt alle lebenden Substanzen, wenn auch in geringerem Maße als

einzelne Kategorien besonders empfindlicher Zellen, schädigen und schließlich bei zu großer Intensität oder zu langer Dauer der Bestrahlung auch abtöten. In der Geschwulsttherapie werden nun aber häufig viel stärkere Präparate, als ich sie in meinen Versuchen benutzt habe, angewandt. Dosen von 50 bis 100 und 500 mg sind die gebräuchlichen. Man hält dies in vielen Fällen für notwendig, um eine größere Tiefenwirkung zu erzielen und um überhaupt in die Lage zu kommen, eine Geschwulst, die sich etwas weiter ausgebreitet hat, radikal zu zerstören. Denn wenn einzelne unbeschädigte Nester bestehen bleiben, so wachsen sie natürlich weiter und bilden Rezidive, so daß von einer Heilung keine Rede sein kann. In demselben Maße aber, als starke Dosen gewählt werden, steigt natürlich die Gefahr, daß man bei dem Versuche zu heilen mit den Krebszellen auch das gesunde Gewebe zerstört, daß man z. B. in der Weise, wie ich es Ihnen an den bestrahlten Pflanzenblättern oder den Schwanzenden von Amphibienlarven demonstriert habe, Löcher in einzelne Organe hineinbrennt und lebensgefährliche Folgeerscheinungen hervorruft.

In einem Diskussionsabend der Berliner Medizinischen Gesellschaft hat Prof. Bumm auf derartige Schädigungen aufmerksam gemacht, die oft erst nach Monaten und Jahren auftreten, so daß der anfänglich günstige Erfolg nicht vorhält. Wie er in seinem Berichte schreibt, »kommt es ganz allmählich, meist erst nach 1—2 Monaten, zuweilen aber erst nach einem viertel oder halben Jahr zu Veränderungen der gesamten bestrahlten Gewebspartien, die noch lange nach Aussetzung der Bestrahlung fortschreiten und schließlich den ganzen Erfolg in Frage stellen können«. Das Bindegewebe kommt in schwereren Fällen zur Nekrobiose, die einer vollständigen Zerstörung nicht unähnlich sieht. »Denkt man sich,« fügt Bumm hinzu, »daß ähnliche sklerotische und nekrotische Prozesse in der Umgebung anderer Organe, z. B. bei einem Karzinom am Ösophagus, an der Cardia oder am Pylorus, am Darm, am Larynx oder an der Blase, eintreten, so ist die Möglichkeit der allerschwersten Komplikationen ohne weiteres klar.«

Auf der andern Seite von der Szylla liegt die Charybdis; als solche kann man die öfters wiederholte Bestrahlung mit schwachen Präparaten radioaktiver Substanzen bezeichnen. Es liegen nämlich in der Literatur von mehreren Seiten Angaben vor, daß durch schwache Bestrahlung die Zellen zu regerer Teilung angereizt, daß überhaupt das Wachstum gefördert und beschleunigt werden soll. Solches wird von jungen Keimpflanzen behauptet. Auch von neugeborenen Mäusen berichtet Lazarus von einem wachstumsfördernden Einfluß von schwachen Fernbestrahlungen. »Die Bestrahlten wuchsen viel rascher, bekamen

weit früher das freie Sehvermögen und das Fell als die Unbestrahlten.« Desgleichen konnte er an zwei Krebsmäusen nachweisen, daß der stark bestrahlte Tumor rasch einschmolz, während der gleichzeitig fernbestrahlte rapide wuchs. Auch will er öfters, namentlich an den aus sogenannten Radiumkurorten zurückkehrenden Geschwulstkranken beobachtet haben, daß »zu schwache Dosierung die pathologischen Gewebe noch mehr zum Wuchern anreizt, ja ein geradezu galoppierendes Wachstum provoziert«.

Ich selbst habe bei meinen Experimenten bis jetzt keine Beobachtungen über wachstumsfördernde Wirkung von schwacher Dosierung beobachtet, habe allerdings nach dieser Richtung berechnete Versuche auch nicht angestellt. Jedenfalls nehmen die Mediziner, je nachdem sie die eine oder die andere Gefahr mehr fürchten, hinsichtlich der Verwendung der radioaktiven Substanzen noch eine verschiedene Stellung ein. Wie BUMM sieht sich auch LAZARUS veranlaßt, auf die Gefahren der Überdosierung um so mehr hinzuweisen, als dieselbe eine größere Verbreitung gewonnen hat. Eine zu starke Dosierung zerstöre neben dem pathologischen auch das normale Gewebe. Auf der andern Seite sprechen sich der Freiburger Gynäkologe KRÖNIG, der zum gegenwärtigen Aufschwung der Radiumtherapie wesentlich mit beigetragen hat, und der Chirurg STICKER mehr für Verwendung starker Präparate aus. KRÖNIG bezeichnet es geradezu »als schlimmsten Fehler in der Behandlung des Krebses, zu kleine Dosen zu geben«. Doch erkennt er auch die von der andern Seite geltend gemachten Gefahren an. »Bei der Strahlenbehandlung bewegen wir uns in einer engen Fahrrinne, wo rechts und links das Schiff scheitern kann. Geben wir von der Strahlenenergie der Röntgenröhre oder der radioaktiven Substanzen zu wenig, so besteht die furchtbare Gefahr, daß wir den Krebs nicht vernichten, sondern daß wir ihn durch kleine Dosen zum schnellen Wachstum anreizen, wie das leider nur zu oft beobachtet ist. Geben wir zu viel, so schädigen wir ungewollt das über den Krebsen liegende Gewebe und die Haut.«

Wie mir scheint, läßt sich zur Zeit noch kein Urteil abgeben, inwieweit sich die derzeitigen großen Hoffnungen über den Heilwert der Radiumtherapie in Zukunft erfüllen werden. Dagegen ist es unbestreitbar, daß die radioaktiven Substanzen in ihren Wirkungen auf den lebenden Organismus von großem biologischen Interesse sind und sich für experimentelle Forschungen in verschiedenster Weise mit Erfolg verwerten lassen. Nur muß man sich hüten, in den interessanten biologischen Wirkungen auch gleich gesicherte Heilerfolge zu erblicken.

Tafelerklärung.

Fig. 1. Efeublatt, 12 Stunden lang mit einer Mesothoriumkapsel (55 mg) am 19. Mai bestrahlt. Am 17. Juni photographiert und dabei etwas verkleinert. Die bestrahlte Stelle ist abgestorben und braun verfärbt.

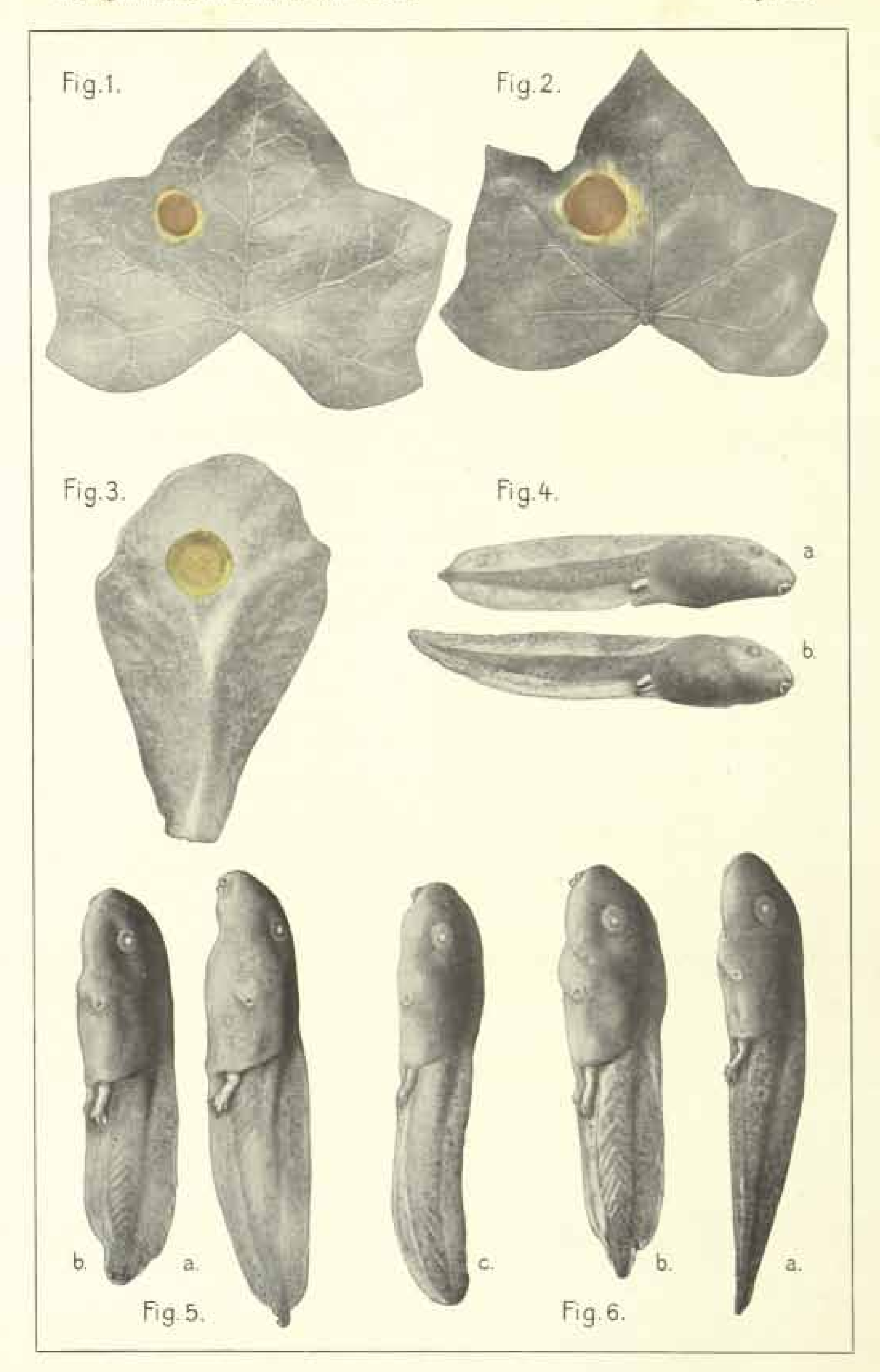
Fig. 2. Efeublatt, am 27. April 11 Stunden lang mit einer Mesothoriumkapsel (55 mg) bestrahlt. Am 17. Juni photographiert und dabei etwas verkleinert. In der Zeit von 2 Monaten ist die bestrahlte, abgestorbene Stelle ganz eingetrocknet und hat sich allmählich an Umfang noch ein wenig (vgl. mit Fig. 1) vergrößert.

Fig. 3. Blatt von Sedum, am 10. Mai 13 Stunden lang mit einer Mesothoriumkapsel (55 mg) bestrahlt. Am 17. Juni photographiert und dabei ein wenig vergrößert. Im Laufe von 5 Wochen ist die bestrahlte Stelle langsam abgestorben. Das in der ganzen Dicke des Blattes abgestorbene Gewebe ist zu einem ganz dünnen, ledergelb gefärbten Häutchen eingetrocknet, das, umgeben von gesundem, grünem Gewebe, den Boden einer tiefen Grube bildet.

Fig. 4. a) Kaulquappe von *Rana fusca*, deren Schwanzspitze am 14. Mai von 12 Uhr 15 Minuten bis 2 Uhr mit einer Radiumkapsel von 7.4 mg bestrahlt wurde. Am 21. Mai ist das bestrahlte Stück rückgebildet; die Larve wurde in Pikrinsublimat-Eisessig mit einer gleichaltrigen normalen Kontrollarve (*b*) konserviert und mit ihr zusammen photographiert. Vergrößerung dreifach.

Fig. 5. Zwei Kaulquappen von *Rana fusca*, deren Schwanzspitzen am 24. Mai bestrahlt wurden. Bei 5*a* wurde mit einer Radiumkapsel von 7.4 mg 2 Stunden, bei 5*b* mit einer Mesothoriumkapsel von 55 mg 1 Stunde bestrahlt. Am 3. Juni wurden beide Tiere in Zenkerscher Flüssigkeit konserviert und später nebeneinander photographiert. Vergrößerung dreifach. In Fig. 5*b* ist ein größeres Stück des Schwanzendes als in Fig. 5*a* zum Schwund gebracht.

Fig. 6. Drei Kaulquappen von *Rana fusca*, die am 24. Mai zum Versuch benutzt wurden. *a* normale Kontrollarve, bei *b* wurde das Schwanzende 1 Stunde mit einer Mesothoriumkapsel von 55 mg, bei *c* mit einer Radiumkapsel von 7.4 mg 2 Stunden lang bestrahlt. Am 9. Juni wurden die 3 Larven in Zenkerscher Flüssigkeit konserviert und später nebeneinander photographiert. Vergrößerung dreifach. In Fig. 5*b* ist ein größeres Stück des Schwanzendes als in Fig. 5*c* zum Schwund gebracht.



Hertwig: Die Verwendung radioaktiver Substanzen zur Zerstörung lebender Gewebe.

Über Phosphorsäureester des Methylglucosids und Theophyllinglucosids.

Von EMIL FISCHER.

(Vorgetragen am 25. Juni 1914 [s. oben S. 713].)

Die einfachsten Nucleinsäuren, welche meist Nucleotide genannt werden, sind bekanntlich aus Purinen oder Uracilen, Zuckern und Phosphorsäure zusammengesetzt und von einigen derselben, z. B. der Inosinsäure und Guanylsäure, weiß man sicher, daß die Phosphorsäure mit dem Zuckerrest verbunden ist. Nachdem die Synthese von Glucosiden der Purine gelungen war, lag es nahe, sie noch mit Phosphorsäure zu kuppeln, um künstliche Nucleotide zu gewinnen. Ein solcher Versuch ist schon von HELFERICH und mir[1] angestellt, aber nur flüchtig beschrieben worden, weil das Produkt amorph war und die Analyse kein eindeutiges Resultat gegeben hatte. Inzwischen habe ich den Vorgang genauer studiert und eine Theophyllinglucosidphosphorsäure gefunden, die hübsch kristallisiert und allem Anschein nach ein einheitliches chemisches Individuum ist. Um diesen Erfolg zu erzielen, war es aber nötig, ein abgeändertes Verfahren für die Einführung der Phosphorsäure auszuarbeiten.

Die ältesten Angaben über die Bildung einer Verbindung von Glucose mit Phosphorsäure gehen wohl auf M. BERTHELOT[2] zurück, der ein solches Präparat durch Erhitzen von Glucose mit sirupförmiger Phosphorsäure auf 140° in kleiner Menge erhalten haben will. Ausführlichere Beobachtungen verdankt man D. AMATO[3], der aus einem schon von seinem Lehrer H. SCHIFF durch Einwirkung von Phosphoroxychlorid auf Helicin erhaltenen Rohprodukt eine Glucosephosphorsäure isolierte, von der er ein Natrium- und zwei Bleisalze analysierte. Allerdings ist es mir fraglich, ob die Substanz AMATOS wirklich eine einfache Glucose-phosphorsäure war, da er angibt, daß sie alkalische

[1] Ber. d. D. chem. Ges. 47, 210 (1914).
[2] Ann. chim. phys. [3] 54, 81 (1858).
[3] Gazetta chimica italiana 1, 56 (1871).

Kupferlösung nicht direkt, sondern erst nach der Hydrolyse reduziere. Jedenfalls haben aber Schiff und Amato die Aufmerksamkeit auf die Verwendung des Phosphoroxychlorids für die Bereitung von Phosphorsäureestern der Kohlenhydrate gelenkt. Zur brauchbaren Methode wurde aber seine Verwendung erst in neuerer Zeit durch C. Neuberg und H. Pollak ausgebildet, die das Chlorid bei Gegenwart von alkalischen Erden oder deren Carbonaten auf die wässerige Lösung von Rohrzucker, später auch von Traubenzucker einwirken ließen[1].

Eine zweite Methode, Phosphorsäureester der Kohlenhydrate und ähnlicher Stoffe zu bereiten, rührt von K. Langheld[2] her. Er verwendet dafür Metaphosphorsäureester, für den er eine bequeme Art der Darstellung gefunden hat. Sein Verfahren ist in der Ausführung einfacher als die Verwendung des Phosphoroxychlorids und hat ihn bei Fructose, Dioxy-aceton und Glyzerin zu Phosphorsäurederivaten geführt, die kristallisierte Salze bilden.

Ich habe beide Verfahren sowohl beim α-Methylglucosid wie beim Theophyllinglucosid angewandt, aber nur mittelmäßige Resultate erhalten. Durch Phosphoroxychlorid entstehen zwar aus beiden Glucosiden Monophosphorsäurederivate, aber die Ausbeute ist gering, weil das zur Lösung benutzte Wasser den größten Teil des Oxychlorids zerstört. Bei dem Langheldschen Verfahren muß man entweder in Chloroform oder ohne Lösungsmittel arbeiten. Das geht bei den sirupförmigen Zuckern ganz gut, aber bei den hochschmelzenden Glucosiden sehr schwer. Sie werden trotz feinster Verteilung bei gewöhnlicher Temperatur von dem Ester nur zum geringen Teil angegriffen. Erwärmt man dagegen auf 100°, so treten in das α-Methylglucosid sofort mehrere Phosphorsäuren ein, und bei dem Theophyllinglucosid gestaltet sich der Vorgang noch viel komplizierter, indem der größte Teil des Purinrestes abgespalten wird.

Infolgedessen habe ich mich bemühen müssen, ein besseres Verfahren für die Glucosid-phosphorsäuren auszuarbeiten und dasselbe schließlich in der Anwendung von trockenem Pyridin und Phosphoroxychlorid gefunden. Das Pyridin ist nicht allein für viele Zucker, wie schon bekannt, sondern auch für die beiden Glucoside ein gutes Lösungsmittel, und wenn man zu einer solchen Lösung bei starker Abkühlung Phosphoroxychlorid in der für 1 Mol. berechneten Menge zugibt, so tritt die gewünschte Reaktion ein. Die nachträgliche Verwandlung des Produktes in das Barytsalz der Glucosid-monophosphorsäure bietet auch keine Schwierigkeiten. Durch diese Verbesserung ist

[1] Biochem. Zeitschr. **23**, 515 (1910) u. Ber. d. D. chem. Ges. **43**, 2060 (1910).

[2] Ber. d. D. chem. Ges. **43**, 1857 (1910), **44**, 2076 (1911) u. **45**, 1125 (1912); K. Langheld u. F. Oppmann, ebenda **45**, 3753 (1912).

es gelungen, das Bariumsalz der Theophyllinglucosid-monophosphorsäure in einer Ausbeute von 80 Prozent der Theorie und daraus ohne allzu große Verluste die kristallisierte Theophyllinglucosid-phosphorsäure selbst zu gewinnen. Es verdient bemerkt zu werden, daß mit Phosphoroxychlorid und Bariumhydroxyd aus dem Theophyllinglucosid ebenfalls eine Monophosphorsäure, allerdings in schlechter Ausbeute, als Bariumsalz erhalten wird, daß aber die hieraus isolierte freie Säure nicht kristallisiert und also nicht identisch mit dem ersten Präparat ist. Auch beim α-Methylglucosid sind die Monophosphorsäurederivate verschieden, je nachdem man Phosphoroxychlorid mit Pyridin oder mit Baryt anwendet. Im ersten Falle ist das Bariumsalz in Alkohol fast unlöslich, im zweiten Fall löst es sich darin ziemlich leicht und mußte deshalb für die Analyse durch das Silbersalz ersetzt werden.

Die Kombination von Phosphoroxychlorid mit Pyridin ist auch bei den einfachen Zuckern und sogar beim Rohrzucker ausführbar. Löst man den letzteren in der 15fachen Menge heißen Pyridins, kühlt auf —20° ab und fügt dann 1 Mol. Phosphoroxychlorid vermischt mit Pyridin zu, so entstehen verschiedene Produkte. Eines davon fällt aus dem Pyridin als Gallerte, ist auch in Wasser unlöslich und enthält reichliche Mengen von Phosphor. In größerer Menge findet sich in der Pyridinlösung eine Phosphorsäureverbindung, die als Barytsalz leicht isoliert werden kann und die nach ihren Eigenschaften eine Saccharose-phosphorsäure zu sein scheint. Ich werde erst später ausführlicher über diese Versuche berichten. Bei den Aminosäuren, welche sowohl von Langheld wie von Neuberg und Pollak in Phosphorsäurederivate verwandelt wurden, ferner bei dem Inosit ist das Pyridinverfahren in der obenerwähnten Form nicht anwendbar, weil sie in der Base zu schwer löslich sind.

Die kristallisierte Theophyllinglucosid-phosphorsäure, welche das erste synthetische Produkt dieser Gruppe ist, hat in getrocknetem Zustand die Formel $C_{13}H_{17}O_9N_4P$ oder aufgelöst $C_{13}H_{16}O_7N_4 . PO_2H$; denn sie ist eine einbasische Säure, wie sich durch die Titration mit Alkali sicher nachweisen ließ. Sie hat aber die Neigung, unter dem Einfluß von Basen in eine zweibasische Säure überzugehen. Das tritt ein, wenn sie längere Zeit mit überschüssigem Alkali bei gewöhnlicher Temperatur in Berührung ist oder mit Barytwasser kurze Zeit erwärmt wird. Die so entstehenden Salze sind aber ebensowenig wie die zugehörige zweibasische Säure selbst kristallisiert erhalten worden.

Ich vermute, daß in der einbasischen Säure der Phosphorsäurerest mit zwei Alkoholgruppen des Zuckerrestes verkuppelt ist; denn daß die Phosphorsäure am Zuckerrest des Theophyllinglucosids fixiert ist, scheint kaum zweifelhaft, da am Theophyllinrest hierzu keine

Gelegenheit geboten ist. Die kristallisierte Säure würde also der sekundäre Phosphorsäureester des Glucosids sein. Die Bildung eines solchen Körpers bietet nichts Auffälliges, wenn man sich der Versuche von A. Grün und F. Kade[1] über die außerordentlich leichte Umwandlung von primärem Distearin-phosphorsäure-ester in sekundären und tertiären Ester erinnert.

Diese Erfahrungen mit der Theophyllinglucosid-phosphorsäure scheinen mir geeignet, neue Gesichtspunkte für die Beurteilung der natürlichen Nucleotide und Nucleinsäuren zu gewinnen. Ich werde selbstverständlich das neue Verfahren der »Phosphorylierung«[2] auf die schon bekannten synthetischen Puringlucoside und auch auf die natürlichen Nucleoside, das Adenosin, Guanosin usw. übertragen.

Mit der synthetischen Erschließung der Gruppe ist die Möglichkeit gegeben, zahlreiche Stoffe zu gewinnen, die den natürlichen Nucleinsäuren mehr oder weniger nahestehen. Wie werden sie auf verschiedene Lebewesen reagieren? Werden sie zurückgewiesen oder zertrümmert oder werden sie am Aufbau des Zellkerns teilnehmen? Die Antwort darauf kann nur der Versuch geben. Ich bin kühn genug, zu hoffen, daß unter besonders günstigen Bedingungen der letzte Fall, die Assimilation künstlicher Nucleinsäuren ohne Spaltung des Moleküls, eintreten kann. Das müßte aber zu tiefgreifenden Änderungen des Organismus führen, die vielleicht den in der Natur beobachteten dauernden Änderungen, den Mutationen, ähnlich sind.

Theophyllin-glucosid-phosphorsäure
$C_{13}H_{16}O_7N_4 \cdot PO_3H_2$.

Wie erwähnt, entsteht sie durch Einwirkung von Phosphoroxychlorid und Pyridin auf Theophyllinglucosid[3]. Die angewandten Materialien müssen ganz trocken sein. Deshalb wurde das feingepulverte Theophyllinglucosid im Hochvakuum (0.15 mm) bei 78° mehrere Stunden über Phosphorpentoxyd getrocknet, während das Pyridin 6 Stunden mit überschüssigem Bariumoxyd unter Rückfluß gekocht und zum Schluß darüber destilliert war.

10 g Theophyllinglucosid werden in 100 ccm heißem Pyridin gelöst, auf —20° abgekühlt und mit einer Mischung von 4.6 g (etwa 1 Mol.) Phosphoroxychlorid und 10 ccm Pyridin, die ebenfalls auf —20° gekühlt ist, versetzt. Die klare farblose Mischung bleibt 50 Minuten

[1] Ber. d. D. chem. Ges. **45**, 3358 (1912).

[2] Bezeichnung von Neuberg und Pollak.

[3] Den Farbenfabriken vorm. F. Bayer & Co. in Leverkusen bin ich für die Überlassung einer größeren Menge des Glucosids zu lebhaftem Danke verpflichtet.

bei —20° stehen, wird dann mit einer stark abgekühlten Mischung von 10 ccm Pyridin und 10 ccm Wasser versetzt und nach weiteren 15 Minuten aus dem Kältebad entfernt. Nach einer weiteren Viertelstunde fügt man 300 ccm eiskaltes Wasser hinzu, schüttelt zur Entfernung der Salzsäure mit 20 g Silbersulfat und fällt aus der filtrierten Flüssigkeit das überschüssige Silber durch Schwefelwasserstoff. Die abgesaugte Flüssigkeit, die kaum noch Schwefelwasserstoff enthalten soll, wird nun zur Entfernung des Pyridins mit 50 g reinem, kristallisiertem, feingepulvertem Bariumhydroxyd versetzt, auf 1 l verdünnt und unter einem Druck von 10 bis 15 mm aus einem Bad von nicht mehr als 40° verdampft. Das Pyridin ist gewöhnlich nach 1½ bis 2 Stunden völlig verjagt. Man leitet nun in die Flüssigkeit Kohlensäure bis zur neutralen Reaktion ein, saugt über etwas Tierkohle ab und verdampft das Filtrat unter demselben geringen Druck auf etwa 75 ccm. Das hierbei ausgeschiedene Bariumcarbonat wird abgesaugt und das Filtrat in 1 l absoluten Alkohol unter Umrühren eingegossen. Dabei fällt das Bariumsalz der Theophyllinglucosidphosphorsäure als farblose, amorphe Masse aus, die sich gut absaugen und mit Alkohol und Äther waschen läßt. Ausbeute 12 g.

Das Präparat enthielt nach dem Trocknen bei 100° im Hochvakuum über Phosphorpentoxyd 17.8 Prozent Ba und 6.56 Prozent P. Wie aus dem Nachfolgenden ersichtlich ist, war es also ein Gemisch.

Um die reine kristallisierte Theophyllinglucosidphosphorsäure zu erhalten, löst man das Bariumsalz in etwa der zehnfachen Menge Wasser, fällt das Barium genau mit Schwefelsäure, konzentriert das Filtrat zunächst bei 10—15 mm Druck und bringt dann in den Vakuumexsikkator über Phosphorpentoxyd. Nach einiger Zeit beginnt die Abscheidung von sehr feinen Nädelchen, deren Menge sich ziemlich rasch vermehrt. Sie werden schließlich abgesaugt, zuerst mit 50prozentigem, dann mit absolutem Alkohol und schließlich mit Äther gewaschen.

Ausbeute an diesem schon recht reinen Produkt ungefähr 5.3 g aus 12 g Bariumsalz oder 10 g Theophyllinglucosid, also auf letzteres berechnet 45 Prozent der Theorie.

Die wässerige Mutterlauge gibt beim weiteren Eindunsten im Vakuumexsikkator eine neue, aber unreinere Kristallisation. Schließlich bleibt ein Sirup zurück, der andere Phosphorsäurederivate enthält.

Die kristallisierte Theophyllinglucosidphosphorsäure änderte beim Umkristallisieren aus warmem Wasser ihr Drehungsvermögen nicht, war also offenbar schon sehr rein. Allerdings wurden beim Umkristallisieren öfters an Stelle der Nädelchen regelmäßige, meist sternförmig vereinigte längliche Blättchen beobachtet; aber sie unterscheiden sich weder in der Zusammensetzung noch im Drehungsvermögen von den Nadeln.

Die kristallisierte Säure enthält im lufttrockenen Zustand Kristallwasser, das im Hochvakuum bei 78° rasch entweicht. Seine Menge entsprach im Durchschnitt von sechs Bestimmungen bei verschiedenen Präparaten 8.9 Prozent, wobei die Abweichungen vom Mittel sehr gering waren. Das getrocknete Präparat zieht an der Luft rasch wieder Feuchtigkeit an. Bei feuchter Sommerluft war die Sättigung mit Wasserdampf schon nach 20—25 Minuten erreicht. Die Menge des absorbierten Wassers betrug 7.9 Prozent. Aus diesen Beobachtungen geht mit großer Wahrscheinlichkeit hervor, daß die Menge des Kristallwassers 2 Molekülen entspricht.

Berechnet für $C_{13}H_{16}O_7N_4 . PO_3H + 2H_2O$ (440.21): 8.19 Prozent H_2O.

Die im Hochvakuum über Phosphorpentoxyd bei 78° getrocknete Säure gab folgende Zahlen:

0.1614 g Subst.: 0.2273 g CO_2, 0.0672 g H_2O
0.1398 g » 0.1984 g » 0.0570 g »
0.1364 g » 16.40 ccm N (über 33prozentiger KOH) 763 mm, 21°
0.1475 g » 18.40 ccm N (» » ») 761 mm, 26°
0.2176 g » 0.0616 g $Mg_2P_2O_7$.

Zur Bestimmung von Phosphor in dieser und den folgenden Substanzen wurde nach Carius oxydiert. Enthielt die Verbindung auch Barium, so wurde nach dem Öffnen des Rohrs erst die Salpetersäure verdampft, der Rückstand mit Wasser und wenig Salzsäure aufgenommen, das Barium mit Schwefelsäure gefällt, das Filtrat wieder verdampft, mit Wasser aufgenommen, die Phosphorsäure mit Ammonmolybdat in der üblichen Weise gefällt und der Niederschlag in Ammoniummagnesiumphosphat übergeführt.

$C_{13}H_{17}O_9N_4P$ (404.18) Ber. C 38.60 H 4.24 N 13.87 P 7.67 Prozent
Gef. C 38.41 H 4.66 N 13.81 P 7.88 »
C 38.70 H 4.56 N 13.96.

Die Differenz zwischen der gefundenen und berechneten Menge Wasserstoff dürfte durch die große Hygroskopicität der getrockneten Substanz bedingt sein.

Für die optischen Bestimmungen diente die wässerige Lösung:

$$1.\quad [\alpha]_D^{26} = -\frac{0.60° \times 5.0464}{1 \times 1.0074 \times 0.1010} = -29.76°$$

$$2.\quad [\alpha]_D^{26} = -\frac{1.38° \times 2.0640}{1 \times 1.0187 \times 0.0940} = -29.75°$$

$$3.\quad [\alpha]_D^{26} = -\frac{1.53^\circ \times 1.7715}{1 \times 1.0212 \times 0.0896} = -29.62^\circ$$

$$4.\quad [\alpha]_D^{23} = -\frac{1.58^\circ \times 1.6577}{1 \times 1.0233 \times 0.0862} = -29.69^\circ$$

Die Bestimmungen sind mit 3 Präparaten verschiedener Darstellung und mit verschiedenen Kristallisationen ausgeführt. Zum Beweis, daß bei der Austreibung des Kristallwassers keine wesentliche Veränderung eintritt, ist die Bestimmung 4 mit der wasserhaltigen Säure (angewandt 0.0945 g von 8.9 Prozent Wassergehalt) ausgeführt und das Resultat auf die wasserfreie Säure umgerechnet.

Die trockene Theophyllinglucosidphosphorsäure hat keinen Schmelzpunkt. Von 200° an sintert sie stark und färbt sich braun, bei Steigerung der Temperatur tritt allmählich völlige Zersetzung ein. Sie löst sich leicht in heißem Wasser, erheblich schwerer in der Kälte. Eine 5 prozentige wässerige Lösung bleibt aber bei 0° längere Zeit klar. In den gewöhnlichen indifferenten organischen Solvenzien ist sie außerordentlich schwer oder gar nicht löslich. Mit Chlorwasser gibt sie ähnlich dem Theophyllin und Theophyllinglucosid die Murexidprobe. Sie reduziert die Fehlingsche Lösung beim kurzen Aufkochen nur sehr schwach. Der Geschmack ist sauer. Die Säure gibt weder mit Tannin noch mit dem Eiweiß des Hühnereis eine Fällung. Ihre wässerige Lösung wird durch eine konzentrierte Lösung von Phosphorwolframsäure nicht gefällt, wohl aber gelb bis gelblichrot gefärbt. Verwendet man an Stelle der wässerigen Lösung die Lösung der Säure in 20prozentiger Schwefelsäure, so entsteht durch Phosphorwolframsäure sofort ein starker, gelb gefärbter Niederschlag, der erst harzig ist, später aber fest wird und beim längeren Stehen auch kristallinische Struktur annimmt. Er löst sich leicht in reinem Wasser, wird aber daraus durch starke Schwefelsäure wieder gefällt. Die Stärke der n-Schwefelsäure genügt noch nicht, um den Niederschlag entstehen zu lassen, wohl aber 10prozentige.

Die Theophyllinglucosidphosphorsäure ist eine einbasische Säure, wie folgende Titration mit $^1/_{10}$ Normalalkali zeigt:

0.1844 g Substanz brauchten zur Neutralisation 4.5 ccm $\frac{n}{10}$ Natronlauge (Indikator Phenolphthalein), während für 1 Mol. 4.56 ccm berechnet sind.

In Berührung mit überschüssigem Alkali verwandelt sie sich schon bei Zimmertemperatur langsam in eine höherbasische Säure:

0.3982 g trockene Substanz wurden in 30 ccm $\frac{n}{10}$ Natronlauge gelöst und 48 Stunden bei Sommertemperatur (22—26°) aufbewahrt. Dann wurde das Alkali mit $\frac{n}{10}$ Salzsäure bei Gegenwart von Phenol-

phthalein zurücktitriert. Verbraucht waren 16.5 ccm $\frac{n}{10}$ Alkali, während 19.70 ccm für 2 Mol. Alkali berechnet sind. Mithin waren ungefähr $\frac{2}{3}$ der angewandten einbasischen Säure in zweibasische verwandelt. Die alkalische Lösung der Säure war bei dieser Behandlung farblos geblieben und reduzierte zum Schluß die Fehlingsche Lösung auch nur schwach.

Bei einem andern Versuch, wo die Säure mit einem erheblichen Überschuß von Alkali 24 Stunden im Brutraum gestanden hatte, betrug die Menge des verbrauchten Alkalis wenig mehr als 2 Moleküle, aber gleichzeitig war die Flüssigkeit gelb geworden und reduzierte Fehlingsche Lösung stark. Mithin war eine tiefergehende Zersetzung eingetreten.

Im Einklang mit diesen Beobachtungen steht das Verhalten der Theophyllinglucosidphosphorsäure gegen Bariumcarbonat und Bariumhydroxyd. Mit dem ersten entsteht ein amorphes Bariumsalz, das annähernd die Zusammensetzung der Monobariumverbindung besitzt, wie folgender Versuch zeigt:

0.5 g Säure wurden in 10 ccm warmem Wasser gelöst, mit reinem frisch bereitetem Bariumcarbonat versetzt, 2—3 Minuten auf dem Wasserbad erhitzt, dann die neutrale Lösung filtriert, unter geringem Druck eingeengt und mit Alkohol gefällt. Das farblose amorphe Salz enthielt nach dem Trocknen im Hochvakuum bei 100° über Phosphorpentoxyd 15.8 Prozent Barium, während für $(C_{13}H_{16}O_9N_4P)_2Ba$ 14.56 Prozent berechnet sind.

Dieses Salz wurde nun in der verdünnten wässerigen Lösung mit überschüssigem Bariumhydroxyd kurze Zeit rasch erhitzt, bis die Lösung anfing, sich schwach gelb zu färben, dann sofort Kohlendioxyd bis zur neutralen Reaktion eingeleitet, aufgekocht, abgesaugt, unter geringem Druck verdampft und mit Alkohol gefällt. Das Salz enthielt jetzt 19.6 Prozent Barium.

Ferner wurden beim Austreiben des Pyridins mit Bariumhydroxyd bei höherer Temperatur immer Bariumsalze erhalten, die über 21 Prozent bis 22.8 Prozent Ba enthielten, während für das Dibariumsalz einer Theophyllinglucosidphosphorsäure $C_{13}H_{17}O_{10}N_4PBa$ 24.64 Prozent Ba berechnet sind.

Auch aus diesen Bariumsalzen wurde durch Zerlegung mit Schwefelsäure und Verdampfen der Mutterlauge kristallisierte Theophyllinglucosidphosphorsäure gewonnen, die wahrscheinlich aus der zweibasischen Säure zurückgebildet wurde, aber die Ausbeute war dann erheblich schlechter und die Kristallisation der Säure entsprechend schwieriger.

Hydrolyse der Theophyllinglucosidphosphorsäure.

Wie das Theophyllinglucosid selbst, erleidet die Säure beim Kochen mit verdünnter Salzsäure eine Hydrolyse, die aber in diesem Fall komplizierter verläuft als beim einfachen Glucosid. Wird die Säure mit 2n-Salzsäure auf dem Wasserbad erwärmt, so reduziert die Flüssigkeit bald die Fehlingsche Lösung sehr stark; sie enthält aber zunächst keinen Traubenzucker, da sie kein kristrallisiertes Phenylglucosazon liefert, sondern wahrscheinlich eine reduzierende Glucosephosphorsäure. Leider tritt bei weiterer Einwirkung der Salzsäure eine sekundäre Reaktion ein, denn die Flüssigkeit färbt sich erst gelb, dann braun. Bei einer 10prozentigen Salzsäure war diese Braunfärbung nach einer halben Stunde schon recht stark. Dieser Übelstand wird vermieden, wenn man nur 1prozentige Salzsäure verwendet.

1 g reine wasserhaltige Theophyllinglucosidphosphorsäure wurde in 25 ccm 1prozentiger Salzsäure gelöst. Die Flüssigkeit drehte anfangs ziemlich stark nach links, aber schon nach 3stündigem Kochen am Rückflußkühler war ganz schwache Rechtsdrehung vorhanden. Nach 4stündigem Kochen betrug diese im 50-mm-Rohr +0.12°, nach $5\frac{1}{4}$ Stunden +0.32°, nach $7\frac{1}{4}$ Stunden +0.43° und war dann nach einer weiteren Stunde unverändert. Die Flüssigkeit war zum Schluß hellgelb und reduzierte die $1\frac{1}{2}$fache Menge Fehlingsche Lösung. Zur Isolierung der Spaltprodukte wurde sie mit n-Natronlauge genau neutralisiert, mit Essigsäure ganz schwach angesäuert, bei geringem Druck und 30° ganz verdampft und der Rückstand 3mal mit je 60 ccm absolutem Alkohol ausgekocht. Der Rückstand reduzierte noch Fehlingsche Lösung. Beim Verdampfen des alkoholischen Filtrats blieb ein bräunlichgelber Rückstand, von dem ein Teil zum Nachweis der Glucose mit salzsaurem Phenylhydrazin und Natriumacetat $1\frac{1}{4}$ Stunden erhitzt wurde. Das erhaltene Osazon schmolz unter Zersetzung gegen 205° und zeigte auch im Äußeren die größte Ähnlichkeit mit Phenylglucosazon. Die Hauptmenge obigen Rückstandes wurde in wenig heißem Alkohol gelöst. Beim Erkalten schied sich eine amorphe Masse ab, aber beim längeren Stehen wurde der größte Teil kristallinisch. Zur völligen Reinigung mußte dieses Produkt noch 2mal aus heißem Alkohol kristallisiert werden, wobei erhebliche Verluste unvermeidlich waren. Das schließlich erhaltene Präparat war farblos, schmolz bei 264°, zeigte mit reinem Theophyllin gemischt keine Depression des Schmelzpunktes und war auch sonst dem Theophyllin so ähnlich, daß die Identität trotz der fehlenden Elementaranalyse kaum zweifelhaft ist. Aber ich muß doch mit Rücksicht auf die

ziemlich geringe Ausbeute an reiner Substanz betonen, daß die geschilderte Spaltung neben Phosphorsäure, Glucose und Theophyllin auch noch andere Produkte unbekannter Art liefert.

Einwirkung von Phosphoroxychlorid und Baryt auf Theophyllinglucosid.

Die Reaktion verläuft so wenig glatt, daß man zur Erreichung einer halbwegs befriedigenden Ausbeute einen erheblichen Überschuß von Phosphoroxychlorid anwenden muß, obschon nur ein Monophosphorsäurederivat entsteht.

Eine Lösung von 3 g Theophyllinglucosid in 45 ccm Wasser wurde mit 27 g feingepulvertem kristallisiertem Bariumhydroxyd versetzt, die Flüssigkeit bis zum Gefrieren abgekühlt und nun mit einer Mischung von 5.4 g (etwa 4 Mol.) Phosphoroxychlorid und 10 ccm Äther 2 Stunden bei 0° geschüttelt. Zum Schluß war das Bariumhydroxyd zum größten Teil verbraucht, der Rest wurde durch Einleiten von Kohlensäure neutralisiert, dann das Filtrat mit 25 g Silbersulfat geschüttelt, zentrifugiert und aus der Flüssigkeit das in Lösung gegangene Silber genau mit Salzsäure gefällt.

Dieses Chlorsilber war so fein verteilt, daß es durch Absaugen über einem mit Tierkohle gedichteten Filter entfernt werden mußte. Das Filtrat wurde mit überschüssigem Baryt versetzt, 10—15 Minuten lang aufgekocht, dann der überschüssige Baryt durch Kohlensäure entfernt, die filtrierte Flüssigkeit auf dem Wasserbad eingeengt und schließlich mit Alkohol gefällt.

Ausbeute 0.9 g eines amorphen, farblosen Bariumsalzes, dessen Analyse nach dem Trocknen im Hochvakuum bei 78° über Phosphorpentoxyd annähernd auf die Formel des Dibariumsalzes einer Theophyllinglucosidphosphorsäure stimmt.

0.2255 g Subst.: 0.0901 g Ba SO_4, 0.0472 g $Mg_2P_2O_7$
0.1418 g » 12.55 ccm N (33 prozentige KOH), 19.5°, 759 mm
0.1385 g » 0.1385 g CO_2, 0,0334 g H_2O
$C_{13}H_{17}O_{10}N_4PBa$ (557.55): Ber. C 27.98; H 3.07; N 10.05; P 5.56
Ba 24.64 Prozent
Gef. C 27.27; H 2.70; N 10.18; P 5.83
Ba 23.51 Prozent.

Als bei dem obigen Verfahren nach der Entchlorung der Flüssigkeit mit Bariumhydroxyd nicht in der Hitze, sondern nur bei gewöhnlicher Temperatur behandelt wurde, resultierte ein Bariumsalz, das nur 20.4 Prozent Ba enthielt. Offenbar handelt es sich hier um ein Gemisch.

Aus den Bariumsalzen, die mit Chlorwasser Murexidreaktion geben, wurde noch die freie Säure bereitet. Kristalle konnten hier nicht erhalten werden. Die Säure bildet vielmehr eine amorphe, glasige, in Wasser leicht lösliche Masse. Sie ist also offenbar der Hauptmenge nach verschieden von der zuvor beschriebenen Theophyllinglucosidphosphorsäure.

Einwirkung von Metaphosphorsäureester auf α-Methylglucosid.

Verreibt man 2 g sehr fein gepulvertes und scharf getrocknetes α-Methylglucosid mit 2.2 g Metaphosphorsäureäthylester, der nach der Vorschrift von Langheld (Ber. d. D. chem. Ges. **44**, 2080) bereitet ist, so erwärmt sich die Masse schwach. Zur Vervollständigung der Reaktion ist es nötig, noch 25 bis 30 Minuten auf dem Wasserbad zu erhitzen. Der unverbrauchte Metaphosphorsäureester läßt sich durch wiederholtes Auskochen der Masse mit trockenem Chloroform entfernen. Der farblose Rückstand wurde dann in 5 ccm kaltem Wasser gelöst, die Flüssigkeit mit gepulvertem Bariumhydroxyd genau neutralisiert und die schwach getrübte Lösung filtriert. Beim Eingießen derselben in viel Alkohol fiel ein farbloses, flockiges Bariumsalz, das abgesaugt und mit Alkoholäther gewaschen wurde. Ausbeute 3 g.

Nach zweimaligem Umfällen aus Wasser mit Alkohol und Trocknen im Hochvakuum bei 78° über Phosphorpentoxyd enthielt das Salz 34.3 Prozent Ba und 12.4 Prozent P. In kaltem Wasser löst es sich leicht, scheidet aber beim Erhitzen einen Niederschlag ab. Es ist schwer, über die Zusammensetzung des Präparates, das offenbar ein Gemisch ist, ein Urteil zu fällen.

Zu einem einheitlicheren Präparat gelangt man dadurch, daß man dieses Salz mit dem gleichen Gewicht kristallisierten Bariumhydroxyds, das in der zehnfachen Menge Wasser gelöst ist, zwei Stunden auf dem Wasserbad erhitzt. Dabei fällt ein dichter Niederschlag aus. Der überschüssige Baryt wird dann durch Kohlensäure gefällt, aufgekocht, das klare Filtrat unter stark vermindertem Druck konzentriert und schließlich mit Alkohol gefällt. Der amorphe, etwas schleimige Niederschlag wurde noch zweimal in wenig kaltem Wasser gelöst, mit viel Alkohol wieder gefällt und im Hochvakuum bei 78° über Phosphorpentoxyd getrocknet.

Die Analysen stimmen leidlich auf das Bariumsalz einer vierbasischen Methylglucosid-diphosphorsäure.

0.2190 g Subst.: 0.1644 g $BaSO_4$, 0.0804 g $Mg_2P_2O_7$
0.2597 g » 0.1930 g $BaSO_4$
0.1989 g » 0.0904 g CO_2, 0.0447 g H_2O

$C_7H_{12}O_6(PO_3Ba)_2$ (624.84)

Ber. C 13.44 Prozent, H 1.94 Prozent, P 9.92 Prozent, Ba 43.97 Prozent
Gef. C 12.40 » , H 2.51 » , P 10.23 » , Ba 44.17 »
Ba 43.73 »

Das Salz selbst reduziert die Fehlingsche Lösung nicht, wohl aber tritt die reduzierende Wirkung bei der Hydrolyse mit verdünnter Salzsäure ziemlich rasch ein.

Einwirkung von Phosphoroxychlorid und Pyridin auf α-Methylglucosid.

Eine Lösung von 10 g trockenem α-Methylglucosid in 50 ccm ganz trockenem Pyridin wurde auf —20° abgekühlt und eine Mischung von 7.8 g Phosphoroxychlorid (etwa 1 Mol.) und 20 ccm trockenem Pyridin, die ebenfalls auf —20° gekühlt war, hinzugefügt. Die Mischung blieb $\frac{3}{4}$ Stunden in der Kältemischung und schied dann beim Reiben salzsaures Pyridin aus. Sie wurde noch in der Kälte mit 20 ccm Wasser verdünnt, dann bei gewöhnlicher Temperatur aufbewahrt und nach etwa 20 Minuten mit 200 ccm Wasser verdünnt. Nachdem das Chlor durch Schütteln mit 30 g Silbersulfat entfernt war, wurde die zentrifugierte Lösung durch Schwefelwasserstoff vom Silber befreit, der überschüssige Schwefelwasserstoff an der Saugpumpe beseitigt, nun mit überschüssigem Bariumhydroxyd versetzt und unter vermindertem Druck verdampft, bis alles Pyridin ausgetrieben war. Nachdem der überschüssige Baryt mit Kohlensäure entfernt, das Filtrat im Vakuum konzentriert und mit Alkohol gefällt war, wurde das Bariumsalz zur Reinigung noch zweimal aus der wässerigen Lösung durch Alkohol ausgefällt und zur Analyse bei 78° im Hochvakuum über Phosphorpentoxyd getrocknet. Ausbeute etwa 8 g.

0.2840 g Subst.: 0.1540 g $BaSO_4$, 0.0804 g $Mg_2P_2O_7$

$C_7H_{13}O_9PBa$ (409.47) Ber.: Ba 33.55 Prozent, P 7.57 Prozent
Gef. Ba 31.91 » , P 7.89 »

Die Zahlen zeigen, daß das Salz keineswegs rein, aber vorzugsweise das Dibariumsalz einer Methylglucosidmonophosphorsäure war. Die aus dem Bariumsalz mit Schwefelsäure auf die übliche Art in Freiheit gesetzte Säure blieb beim Eindunsten der wässerigen Lösung als Sirup zurück, der bisher nicht kristallisierte. Säure und Bariumsalz reduzieren die Fehlingsche Lösung nicht, wohl aber nach der Hydrolyse mit verdünnten Säuren.

Einwirkung von Phosphoroxychlorid und Baryt auf α-Methylglucosid.

Eine Lösung von 6 g α-Methylglucosid in 75 ccm Wasser war mit 45 g fein gepulvertem kristallisierten Bariumhydroxyd versetzt und abgekühlt. Sie wurde auf der Maschine bei 0° geschüttelt und im Laufe von 2 Stunden allmählich eine Mischung von 9 g Phosphoroxychlorid und 10 ccm Äther hinzugefügt. Nachdem zum Schluß noch ½ Stunde geschüttelt war, reagierte die Flüssigkeit nur noch schwach alkalisch. Sie wurde nun mit Kohlendioxyd neutralisiert, mit überschüssigem Silbersulfat geschüttelt, das Filtrat mit Schwefelwasserstoff behandelt, nach Entfernung des Schwefelsilbers und Schwefelwasserstoffs mit Baryt neutralisiert und diese Lösung stark eingeengt. Das Bariumsalz ließ sich hier nicht durch Alkohol in festem Zustand abscheiden. Aus der sehr konzentrierten wässerigen Lösung fiel zwar durch Alkohol ein dicker Sirup, der sich aber in viel Alkohol wieder löste.

Das Bariumsalz wurde deshalb in die Silberverbindung verwandelt durch genaues Ausfällen des Bariums mit Schwefelsäure und Erwärmung des Filtrats mit überschüssigem Silbercarbonat. Die unter vermindertem Druck eingeengte wässerige Lösung des Silbersalzes gab auf Zusatz von Alkohol einen farblosen, pulverigen Niederschlag, der sich am Licht etwas färbte. Er wurde abgesaugt, mit Alkohol und Äther gewaschen. Ausbeute nur 1.1 g.

Das zweimal aus Wasser durch Alkohol gefällte Präparat wurde bei 78° im Hochvakuum über Phosphorpentoxyd getrocknet.

0.2344 g Subst.: 0.1295 g AgCl, 0.0577 g $Mg_2P_2O_7$

$C_7H_{13}O_6 . PO_3Ag_2$ (487.86): Ber. Ag 44.23 Prozent, P 6.35 Prozent
Gef. Ag 41.58 » , P 6.86 »

Man sieht, daß auch dieses Präparat nicht einheitlich war, und daß die Wirkung des Phosphoroxychlorids auf Methylglucosid bei Gegenwart von Baryt und Wasser recht unbefriedigende Resultate gibt. Hervorzuheben ist die Verschiedenheit des hier entstehenden, in Alkohol löslichen Bariumsalzes von dem mit Phosphoroxychlorid und Pyridin erhaltenen Präparat.

Bei obigen Versuchen habe ich mich der ebenso geschickten wie eifrigen Hilfe des Hrn. Dr. Ernst Pfähler erfreut, wofür ich ihm auch hier besten Dank sage.

Eine veränderte Formulierung der Quantenhypothese.

Von Max Planck.

(Vorgetragen am 23. Juli 1914 [s. oben S. 815].)

§ 1. Einleitung.

In meiner ersten Formulierung[1] der Quantenhypothese hatte ich angenommen, daß die Energie eines Oszillators, der Wärmestrahlung von der Schwingungszahl ν absorbiert und emittiert, stets ein ganzes Vielfaches von $h\nu$ ist. Diese Voraussetzung stößt aber auf unüberwindliche Schwierigkeiten, da nicht einzusehen ist, wie ein Oszillator von hoher Schwingungszahl aus einem umgebenden Strahlungsfelde von kleiner Strahlungsintensität plötzlich ein ganzes Energiequantum $h\nu$ aufnehmen kann. Daher versuchte ich im Jahre 1911 eine Abänderung der Hypothese in der Weise, daß ich nur die Emission der Wärmestrahlung als unstetig, dagegen die Absorption der Wärmestrahlung als stetig voraussetzte, und konnte zeigen, daß unter gewissen weiteren passend gewählten Annahmen sich eine stationäre Energieverteilung unter den Oszillatoren ergibt, die zu der experimentell hinlänglich verifizierten Strahlungsformel führt.

Doch auch die Voraussetzung der quantenhaften Emission von Wärmestrahlung führt bei weiterem Ausbau auf ernste Schwierigkeiten, von denen ich hier nur diejenigen anführen will, die sich geltend machen bei der gleichförmigen Rotation eines elektrischen Dipols von konstantem Moment. Hier, wo das umgebende elektromagnetische Feld durchaus stationären, nicht nur periodischen Charakter hat, ist es kaum möglich zu verstehen, wie eine Emission nach Quanten zustande kommen kann.

Ich habe mir daher die Frage vorgelegt, ob man nicht noch einen Schritt weitergehen und außer der Absorption auch die Emission der strahlenden Wärme als stetig voraussetzen kann. Diese Auffassung würde darauf hinauskommen, daß die Quantenwirkung gar nicht zwischen

[1] Verh. d. D. Physik. Ges., 2. S. 237, 1900.

den Oszillatoren und der Wellenstrahlung, sondern lediglich zwischen den Oszillatoren und den freien Partikeln (Molekülen, Ionen, Elektronen) stattfindet, welche bei den Zusammenstößen mit den Oszillatoren Energie austauschen. Dann gelten für alle Wechselwirkungen zwischen den Oszillatoren und der freien Strahlung die Gesetze der klassischen Elektrodynamik, insbesondere auch die Formel für den Zusammenhang der mittleren Schwingungsenergie $\bar{U}$ eines geradlinigen Oszillators und der räumlichen Energiedichte der entsprechenden Strahlung:

$$u_\nu = \frac{8\pi\nu^2}{c^3}\cdot\bar{U}. \qquad (1)$$

Da die gestellte Frage eine bejahende Antwort zuzulassen scheint, so möchte ich die hauptsächlichsten der bisher erhaltenen Resultate der Akademie mitteilen. Betrachtet wird hier lediglich der Energieaustausch zwischen einer großen Anzahl N gleichartiger ruhender geradliniger Oszillatoren einer bestimmten Schwingungszahl ν und einer großen Anzahl N' von frei beweglichen Partikeln. Die Wechselwirkungen zwischen den Oszillatoren und der freien Wellenstrahlung bleiben hier unberücksichtigt.

§ 2. Physikalische Voraussetzungen.

Der Energieaustausch zwischen den freien Partikeln und den Oszillatoren sei lediglich bedingt durch die Zusammenstöße; hierfür gelte folgendes Gesetz. Wenn eine Partikel mit der Geschwindigkeit q in der Nähe eines Oszillators vorbeifliegt, so soll ein Zusammenstoß nur und immer dann erfolgen, wenn das Produkt der Geschwindigkeit q und des Minimalabstands r des Oszillatormittelpunktes von der geradlinigen Bahn der herankommenden punktförmig gedachten Partikel kleiner ist als eine gewisse Konstante:

$$q\cdot r < f \qquad (2)$$

(f eine von der Natur des Oszillators abhängige, aber von seiner Schwingungsenergie und von der Geschwindigkeit q unabhängige Größe). Man kann dies auch so ausdrücken, daß das Moment der Bewegungsgröße der Partikel in bezug auf den Oszillator (oder die »Flächengeschwindigkeit« der Partikel) kleiner sein muß als eine gewisse Größe. Bemerkenswert ist vielleicht, daß die Dimension von mf (m Masse einer Partikel) mit der eines Wirkungsquantums übereinstimmt.

Wenn nun diese Bedingung erfüllt ist und ein Zusammenstoß erfolgt, so soll der Energieaustausch zwischen Partikel und Oszillator stets in der Weise stattfinden, daß der Oszillator seine ganze augenblickliche Schwingungsenergie an die Partikel abgibt, während gleichzeitig die Partikel nur das größte Vielfache des Energiequantums $h\nu$,

welches in ihrer kinetischen Energie enthalten ist, an den Oszillator abgibt. Wenn also z. B. die kinetische Energie der Partikel kleiner ist als $h\nu$, so gibt sie gar keine Energie an den Oszillator ab[1]. Durch diese Festsetzungen sind die zeitlichen Veränderungen eines gegebenen Zustandes vollkommen bestimmt.

§ 3. Zustandsänderungen.

Zunächst ist unmittelbar einzusehen, daß die Oszillatoren etwaige Bruchteile der Energie $h\nu$, welche sie vielleicht ursprünglich besessen haben, beim ersten Stoß an die Partikeln abgeben und von da ab stets nur ganze Vielfache von $h\nu$ besitzen, weil sie stets nur solche empfangen. Diese Bedingung wollen wir im folgenden als erfüllt ansehen. Dann können wir für jeden beliebigen Zustand die N Oszillatoren je nach den Vielfachen von $h\nu$, welche ihre augenblickliche Schwingungsenergie bildet, in verschiedene Gruppen einteilen:

$$N = N_0 + N_1 + N_2 + \cdots + N_n + \cdots, \tag{3}$$

wobei N_n die Zahl derjenigen Oszillatoren bedeutet, welche die Schwingungsenergie $nh\nu$ besitzen.

Ebenso teilen wir die N' Partikeln in verschiedene Gruppen:

$$N' = N'_0 + N'_1 + N'_2 + \cdots + N'_n + \cdots, \tag{4}$$

wobei N'_n die Zahl derjenigen Partikeln bedeutet, deren kinetische Energie zwischen $nh\nu$ und $(n+1)\,h\nu$ liegt.

Von der Zahl und der Art aller möglichen Zusammenstöße kann man sich dann folgendes anschauliche Bild machen:

$$\begin{array}{c|ccccccc|c}
 & N_0 & N_1 & N_2 & . & . & N_n & . \; . & \\
\hline
N'_0 & A_{00} & A_{01} & A_{02} & . & . & A_{0n} & . \; . & (N_0) \\
N'_1 & A_{10} & A_{11} & A_{12} & . & . & A_{1n} & . \; . & (N_1) \\
N'_2 & A_{20} & A_{21} & A_{22} & . & . & A_{2n} & . \; . & (N_2) \\
. & . & . & . & . & . & . & . \; . & . \\
N'_{n'} & A_{n'0} & A_{n'1} & A_{n'2} & . & . & A_{n'n} & . \; . & (N_{n'}) \\
. & . & . & . & . & . & . & . \; . & . \\
. & . & . & . & . & . & . & . \; . & . \\
\hline
 & (N'_0) & (N'_1) & (N'_2) & . & . & (N'_n) & . \; . &
\end{array}$$

Die oberste Zeile enthält die verschiedenen Gruppen der Oszillatoren, die erste Spalte (links) enthält die verschiedenen Gruppen der Par-

[1] Diese Hypothese erhält eine experimentelle Stütze durch die wichtigen Resultate der neuesten Untersuchungen von J. Franck und G. Hertz, Verh. d. D. Physik. Ges. 16, S. 512, 1914.

tikeln, und die Größen A bedeuten die Anzahl der entsprechenden Zusammenstöße in einer kleinen Zeit τ.

Zur Berechnung der A dient folgende aus der kinetischen Gastheorie geläufige Überlegung. Fassen wir diejenigen Partikeln ins Auge, deren Geschwindigkeit zwischen q und $q + dq$ liegt, und deren Bewegungsrichtung innerhalb des Elementarkegels $d\Omega$ verläuft. Wir bezeichnen sie mit

$$N'_q dq \cdot \frac{d\Omega}{4\pi}, \tag{5}$$

und nehmen an, daß N'_q nicht von der Richtung der Bewegung abhängt.

Denken wir uns nun jeden Oszillator als Mittelpunkt einer senkrecht zur Bewegungsrichtung q liegenden kreisförmigen Scheibe mit dem Radius

$$r = \frac{f}{q}, \tag{6}$$

so wird nach (2) jede der betrachteten Partikeln, welche während der Zeit τ auf eine dieser Scheiben trifft, mit dem betreffenden Oszillator zusammenstoßen, die übrigen nicht. Die nämliche Zahl ergibt sich, wenn man die Partikeln ruhend, dagegen die Oszillatoren nebst ihren Scheiben mit der gemeinsamen Geschwindigkeit q in der entgegengesetzten Richtung bewegt annimmt. Sie ist also gleich der Anzahl derjenigen ruhend gedachten Partikeln, welche in den während der Zeit τ von den bewegten Scheiben beschriebenen Räume liegen. Die Größe aller dieser Räume ist gleich der Summe der Volumina von lauter gleichen Zylindern mit dem Querschnitt $r^2\pi$ und der Länge $q\tau$, also gleich

$$N \cdot r^2\pi \cdot q\tau,$$

und die Anzahl der betrachteten Partikeln, welche in diesen Räumen liegen, ist mit Berücksichtigung des Wertes von r aus (6):

$$\frac{N \cdot \pi f^2 \tau}{q} \cdot \frac{N'_q dq}{V} \cdot \frac{d\Omega}{4\pi}, \tag{7}$$

wenn V das Volumen des ganzen Systems bedeutet.

Mithin ergibt sich für die Anzahl $A_{n'n}$ der in der Zeit τ erfolgenden Zusammenstöße zwischen den N_n Oszillatoren und den $N'_{n'}$ Partikeln, indem man N_n statt N setzt, und über Ω von 0 bis 4π integriert, ferner über q von $q_{n'}$ bis $q_{n'+1}$, entsprechend den kinetischen Energien $n'h\nu$ und $(n'+1)h\nu$:

$$A_{n'n} = \frac{\pi f^2 \tau N_n}{V} \cdot \int\limits_{q_{n'}}^{q_{n'+1}} \frac{N'_q}{q} \cdot dq. \tag{8}$$

Was nun die Resultate der Zusammenstöße betrifft, so sind dieselben ebenfalls aus der obigen Tabelle zu entnehmen, indem die eingeklammerten Größen der letzten Spalte (rechts) diejenigen Oszillatorgruppen angeben, in welche die gestoßenen Oszillatoren infolge des Stoßes neu eintreten, während die eingeklammerten Größen der untersten Zeile diejenigen Partikelgruppen bezeichnen, in welche die stoßenden Partikeln infolge des Stoßes neu eintreten. So treten z. B. bei den betrachteten $A_{n'n}$ Stößen die beteiligten Oszillatoren in die Gruppe $N_{n'}$, die beteiligten Partikeln in die Gruppe N'_n neu ein.

Damit ergibt sich für die in der Zeit τ erfolgende Änderung der Zahl N_n derjenigen Oszillatoren, deren Schwingungsenergie $nh\nu$ beträgt:

$$\Delta N_n = (A_{n0} + A_{n1} + A_{n2} + \cdots) - (A_{0n} + A_{1n} + A_{2n} + \cdots) \tag{9}$$

und für die in der Zeit τ erfolgende Änderung der Zahl $N'_{n'}$ derjenigen Partikeln, deren Schwingungsenergie zwischen $n'h\nu$ und $(n'+1)h\nu$ liegt:

$$\Delta N'_{n'} = (A_{0n'} + A_{1n'} + A_{2n'} + \cdots) - (A_{n'0} + A_{n'1} + A_{n'2} + \cdots) \tag{10}$$

§ 4. Stationäre Energieverteilung.

Wir fragen jetzt nach den Bedingungen des stationären Zustandes. Für die freien Partikeln gilt dann als Folge ihrer gegenseitigen Zusammenstöße die Maxwellsche Geschwindigkeitsverteilung, also nach (5)

$$N'_q dq = N'\alpha e^{-\beta q^2} q^2 dq, \tag{11}$$

wobei die Konstanten α und β durch die Bedingungen gegeben sind, daß

$$\int_0^\infty N'_q dq = N', \tag{12}$$

und daß die mittlere kinetische Energie einer Partikel:

$$\frac{1}{2} m \overline{q^2} = \frac{3}{2} kT. \tag{13}$$

Dies ergibt:

$$\alpha = \frac{4}{\sqrt{\pi}} \left(\frac{m}{2kT}\right)^{\frac{3}{2}}, \qquad \beta = \frac{m}{2kT}. \tag{14}$$

Dann folgt aus (8) und (11) durch Ausführung der Integration:

$$A_{n'n} = \frac{\pi f^2 \tau N_n}{V} \cdot \int_{n'h\nu}^{(n'+1)h\nu} N'\alpha e^{-\beta q^2} q\, dq = \frac{\pi f^2 \tau N_n}{V} \cdot \frac{\alpha N'}{2\beta} \cdot \left(1 - e^{-\frac{h\nu}{kT}}\right) e^{-\frac{n'h\nu}{kT}}. \tag{15}$$

Folglich nach (3) und (14):

$$A_{n'0} + A_{n'1} + A_{n'2} + \cdots = \sqrt{\frac{2\pi m}{kT}} \cdot \frac{f^2 \tau N N'}{V} \cdot \left(1 - e^{-\frac{h\nu}{kT}}\right) e^{-\frac{n' h\nu}{kT}} \qquad (16)$$

und:

$$A_{0n} + A_{1n} + A_{2n} + \cdots = \sqrt{\frac{2\pi m}{kT}} \cdot \frac{f^2 \tau N_n N'}{V}. \qquad (17)$$

Damit der Zustand stationär ist, müssen die Ausdrücke (9) und (10) verschwinden. Daher ist für diesen Fall nach (16) und (17):

$$N_n = N\left(1 - e^{-\frac{h\nu}{kT}}\right) e^{-\frac{n h\nu}{kT}}, \qquad (18)$$

und somit die mittlere Energie eines Oszillators:

$$U = \frac{(0 \cdot N_0 + 1 \cdot N_1 + 2 \cdot N_2 + \cdots) h\nu}{N} = \frac{h\nu}{e^{\frac{h\nu}{kT}} - 1}, \qquad (19)$$

woraus in Verbindung mit (1) das bekannte Energieverteilungsgesetz folgt.

Sind mehrere Arten Oszillatoren mit verschiedenen Schwingungszahlen ν vorhanden, so ändert sich an der Betrachtung nichts Wesentliches, da die freien Partikeln allen Oszillatorarten gegenüber die nämliche Rolle spielen.

Die Anwendung der hier entwickelten Anschauung auf die Vorgänge im Strahlungsfelde sowie auf die Energieverteilung unter den Molekülen eines festen oder flüssigen Körpers denke ich bei einer anderen Gelegenheit darzustellen. Im letzteren Falle ist die Annahme naheliegend, daß auch in kondensierten Körpern frei herumfliegende, nach dem MAXWELLschen Geschwindigkeitsgesetz sich bewegende Partikeln (dieselben, die eventuell als Dampfmoleküle durch die Oberfläche austreten) den Energieaustausch zwischen den verschiedenen Schwingungsperioden besorgen. Ihre Zahl kann so gering sein, daß durch sie die spezifische Wärme nicht merklich beeinflußt wird.

Verfahren zur Prüfung der Luft auf Gehalt an brennbaren Stoffen.

Von E. Beckmann.

Nach gemeinsamen Versuchen mit Kurt Steglich.

(Mitteilung aus dem Kaiser-Wilhelm-Institut für Chemie, Berlin-Dahlem.)

(Vorgetragen am 18. Juni 1914 [s. oben S. 709].)
(Eingegangen am 11. August 1914.)

Die Anregung zur vorliegenden Untersuchung hat die bei der Einweihung im Kaiser-Wilhelm-Institut für Chemie von Sr. Majestät ausgesprochene Mahnung, zur Schlagwetteruntersuchung beizutragen, gegeben.

I. Schlagwetter und deren Nachweis.

A. Einleitung.

Zunächst möge eine etwas nähere Bekanntschaft mit den Schlagwettern vermittelt werden, welche den Kohlenabbau besonders gefahrvoll machen. Dieselben entstehen durch Austreten von Methan oder Grubengas CH_4 aus den Kohlen, welches bei ihrer allmählichen Bildung aus organischen Stoffen entstanden sein muß. Nicht alle Kohlengruben bieten Schlagwettergefahr, z. B. sind diejenigen in Oberschlesien schlagwetterfrei, dagegen diejenigen in Niederschlesien, Rheinland und Westfalen stark durch Schlagwetter gefährdet. Auch finden wir da, wo die Kohle zutage tritt, relativ wenig Methangehalt, dagegen in tieferen Schichten, wo stärkere Überlagerung mit Gestein stattfindet, einen solchen in erhöhtem Maße. Die Verschiedenheiten beruhen offenbar darauf, daß in den methanarmen Kohlen bereits Entgasung stattgefunden hat, während in den überlagerten Kohlen ein Entweichen des Gasgehaltes nicht möglich war; das geht auch daraus hervor, daß an Sätteln von Verwerfungen besonders viel Methan angetroffen wird, weil das spezifisch leichtere Gas sich dort gesammelt hat, und vielfach auch reichlich Gas in porösem, über dem Kohlenflötz gelagerten Gestein gefunden wird.

Manchmal tritt das Methan aus der ganzen Anbruchfläche der Kohlen aus, unter Knistern und Verstäuben der Kohle — eine neue Gefahr —; manchmal werden Hohlräume aufgeschlossen, aus denen das Gas unter starkem Druck, bis 30 oder 40 Atm., als Bläser oder Ausbruch hervortritt. Dadurch kann der Methangehalt in der Grube so groß werden, daß Betäubungen oder auch Erstickungen wie bei Mangel an Sauerstoff vorkommen. Mit reichlich Luft vermischt, ist das Methan atembar und bringt keinerlei Beschwerden hervor, auch läßt es sich dann durch Geschmack und Geruch nicht erkennen.

Man kann Methan auch künstlich aus Kohlen durch Verkoken bilden. In unserem Leuchtgas kommen etwa 40 Prozent desselben neben der gleichen Menge Wasserstoff vor. Beim Abbau organischer Substanzen im Sumpfwasser tritt es fast rein auf.

Leider ist es nicht möglich, das Methan anders nutzbar zu machen, als es mit der beigemischten Luft zu verbrennen und zur Heizung von Dampfkesseln usw. zu verwerten. Ebenso wie Luft ist das Methan in Wasser und in sonstigen Flüssigkeiten wenig löslich, so daß es nicht durch Absorption abgetrennt werden kann, auch durch Abkühlen läßt es sich nicht von Luft befreien, denn sein Siedepunkt, —165°, liegt nicht weit von dem der Luft, —190°, entfernt. Könnte man das gesamte Methan als Heizgas gewinnen, so würde dessen Menge, zum Leuchtgaspreise berechnet, den Preis der geförderten Kohlen in einzelnen Fällen übersteigen.

Nach dem Gesagten ist es klar, daß auf eine natürliche Abnahme der Schlagwetter in Gruben nicht zu rechnen ist, ja vielmehr, daß sie mit dem raschen Abbauen der Kohle und der Tiefe der Bergwerke zunehmen müssen.

Es gibt kein anderes Mittel zu seiner Beseitigung und Unschädlichmachung als Durchventilieren des Bergwerks mit viel frischer Luft. Bergwerksluft mit nicht mehr als 1.5 Prozent Methan wird noch als unschädlich betrachtet. Früher glaubte man, daß bis 6 Prozent Methangehalt keine Gefahr bringe; man hat aber die Erfahrung gemacht, daß bei Gegenwart von Kohlenstaub in der Luft, der selbst mehr oder weniger methanhaltig ist, schon ein Gehalt von etwa 3 Prozent zu Explosionen führen kann. Bei 3 Prozent dürfen auch Sprengschüsse in den Bergwerken nicht mehr abgegeben werden.

Merkwürdigerweise ist es gelungen, die Gefahr einer Entzündung von Schlagwettern durch Sprengschüsse dadurch zu vermindern, daß man statt des gewöhnlichen Pulvers viel brisantere Materialien verwendet. Explosible Methangemische brauchen eine gewisse Zeit zur Entzündung; Schwarzpulver brennt aber relativ langsam ab und heizt länger, während die neuen, sogenannten schlagwettersicheren Spreng-

stoffe eine sehr kurze Schußflamme geben. Die Entzündungstemperatur von Methangemischen liegt bei 500 bis 700°. Bei Abfeuerung eines Schusses der neuen Sprengstoffe kann aber die Temperatur viel höher, bis 2200° steigen, ohne daß momentan Zündung eintritt.

Außer der Schießarbeit kann die Entzündung von Schlagwettern durch jeden glühenden Körper oder durch Flammen herbeigeführt werden, wenn die Wirkung nicht zu kurz dauert und eine genügend hohe Temperatur erzeugt wird. Eine glimmende Zigarre und glimmender Feuerschwamm gelten als unschädlich, während jede offene Flamme die Entzündung bewirken kann.

Davy hat die Gefahr der Entzündung durch die Sicherheitslampe zu beseitigen gesucht. Er läßt die von außen zur Flamme zutretende Luft durch Drahtnetze passieren; dadurch wird eine Entzündung im Innern des Drahtkorbes unter normalen Umständen unmöglich. Die Temperatur der Explosionsflamme sinkt durch die wärmeableitende Wirkung des Drahtnetzes unter die Entzündungstemperatur der Gasmischung herab. Die Statistik hat aber gezeigt, daß der Schutz kein vollkommener ist und vielmehr etwa die Hälfte der Schlagwetterexplosionen auf Fehler der Sicherheitslampen zurückzuführen ist. Sobald nämlich die Flamme an das Drahtnetz kommt und es erhitzt, hört die Schutzwirkung auf. Dies kann sowohl durch Hochbrennen der Flamme, durch Wegwehen infolge von Luftströmung usw. geschehen. Auch genügt eine kleine Verletzung des Drahtnetzes an einer Stelle, um dasselbe wirkungslos zu machen.

Außer der Schutzwirkung leistet die Sicherheitslampe dem Bergmann noch dadurch einen großen Dienst, daß er aus dem Brennen der Flamme auf das Vorhandensein von Schlagwettern aufmerksam gemacht wird. Sobald der Methangehalt auf 2 bis 3 Prozent steigt, vergrößert sich die Flamme, brennt rußend, und der Drahtkorb füllt sich mit einer blauen Flamme. Bei höherem Methangehalt kann es zum Verlöschen der Flamme kommen. Zur genauen Untersuchung bis auf 1 Prozent werden die Flammen kleingedreht, oder man zieht schwach leuchtende Spiritusflammen, welche innerhalb eines Drahtnetzes brennen, sog. Pielerlampen, vor. Man kann damit, weil man von der Hauptflamme nicht geblendet ist, bereits Schlagwettergehalte von $\frac{1}{4}$ Prozent ab erkennen.

Auch in bezug auf Leuchtkraft mußte die Sicherheitslampe vielfach im Stich lassen. Das Drahtnetz nimmt Licht fort und wird dadurch bei der Arbeit lästig. Verschmieren und Zusetzen mit Kohlenstaub erhöht diesen Mangel. Ersatz des Rüböls durch Benzin hat Leuchtkraft und Reinlichkeit erhöht, auch das Auswehen der Flamme hat weniger mehr zu sagen, da die moderne Cereisen-Zündung ge-

stattet, sie ohne Öffnen von außen wieder anzuzünden. Das geht aber nur so lange, als der Methangehalt nicht zu hoch wird.

Man läßt im Bergwerk auf Schlagwetter noch fast ausschließlich mit der Sicherheitslampe prüfen und verweist genauere Analysen in das Laboratorium, wo nach gasanalytischen Methoden zwar exakt, aber erst in längerer Zeit die Zusammensetzung festgestellt werden kann. Besonders in England geht man mehr und mehr zu diesen Laboratoriumsmethoden über.

Die sich mehrenden Schlagwetterkatastrophen, ich erinnere an die von Courrières und Radbod, haben das Verlangen nach völliger Ausschaltung der Sicherheitslampe an besonders gefährlichen Punkten hervorgerufen. Sie ist vielfach durch die elektrische Grubenlampe ersetzt worden, welche dadurch tragbar gemacht wird, daß man sie auf einem Akkumulator, also einer beweglichen Stromquelle, montiert. Die Zündungsgefahr ist damit sehr verringert; eine Prüfung auf Schlagwetter kann aber damit nicht vorgenommen werden. Man hat deshalb das Zusammenbauen mit einer Wasserstofflampe oder Spirituslampe vorgeschlagen, wodurch natürlich die Lampe wieder an Sicherheit verliert.

Auf die zahlreichen sonstigen Vorschläge der Schlagwetterprüfung kann ich nur andeutungsweise eingehen.

Der bekannte Schlagwetterinduktor von Ansell beruht auf dem Diffundieren von Methan in ein geschlossenes, mit Manometer versehenes Gefäß mit Deckel aus porösem Ton usw. Aus dem erhöhten Druck wird auf Methan geschlossen.

Die geringere Dichte methanhaltiger Luft kann auch mit der Wage nachgewiesen werden.

F. Haber ist es gelungen, ein optisches Instrument, das Interferometer von Lord Rayleigh in Gemeinschaft mit der Firma Carl Zeiss, Jena, für Schlagwetterprüfung einzurichten.

In den beiden Teilen des Gesichtsfeldes dieses Instrumentes nimmt man beim Durchblicken Interferenzstreifen wahr, die nach vorheriger Einstellung sich gegeneinander verschieben, wenn der eine Teil des Apparates Luft, der andere ein Gas mit anderer Brechung enthält. Wenn aus der Luft und dem zu prüfendem Gase Kohlensäure und Wasser entfernt werden, so kann man die auftretenden Unterschiede bei Grubenluft fast mit Sicherheit auf Beimischung von Methan setzen. Das kostspielige Instrument verlangt aber eine sehr vorsichtige Behandlung und kann dem Arbeiter nicht in die Hand gegeben werden.

Später haben F. Haber und H. Leiser für den Grubenarbeiter eine Schlagwetterpfeife empfohlen, durch welche die akustischen Vorrichtungen von E. Hardy sowie von Forbes und Blaikley den Bedürfnissen

der Praxis angepaßt wurden. Während früher die Vergleichspfeife stets mit frischer Luft angeblasen werden mußte, bleibt dieselbe jetzt lange Zeit mit derselben Vergleichsluft gefüllt. Das Anblasen geschieht aber nun bei beiden Pfeifen mit Grubenluft.

Viele andere Vorrichtungen benutzen ein Verhalten des Methanluftgemisches gegenüber feinverteiltem Platin als Katalysator. Dasselbe bewirkt schon ohne Anwärmen eine Oxydation des Methans, wodurch Wärme entsteht, die durch Thermometer, durch Änderung von Druck oder elektrischem Widerstand gemessen werden kann, oder man verbrennt die Methanluftmischungen an elektrisch geheizter Platinspirale und studiert die Verbrennungsprodukte.

B. Eigene Versuche.

Unsere Untersuchung ging von analytisch-chemischen Gesichtspunkten aus. Zunächst haben wir versucht, eine gemäßigte Oxydation des Methans mit Chemikalien herbeizuführen und die Oxydationsprodukte Kohlensäure bzw. Kohlenoxyd und Wasser zur weiteren Prüfung zu verwenden.

Es wäre die Möglichkeit vorhanden gewesen, Kohlensäure bzw. Kohlenoxyd durch Reagenzpapiere, Wasser durch ein Hygrometer zu ermitteln. Solche Versuche führten aber nicht zu befriedigenden praktischen Resultaten.

Schließlich haben wir uns gesagt, daß man die Gefährlichkeit eines Methanluftgemisches am sichersten durch Prüfung auf Explosibilität beurteilen kann. Natürlich muß der Apparat dabei so eingerichtet werden, daß die Übertragung einer etwaigen Explosion auf die Umgebung unmöglich wird.

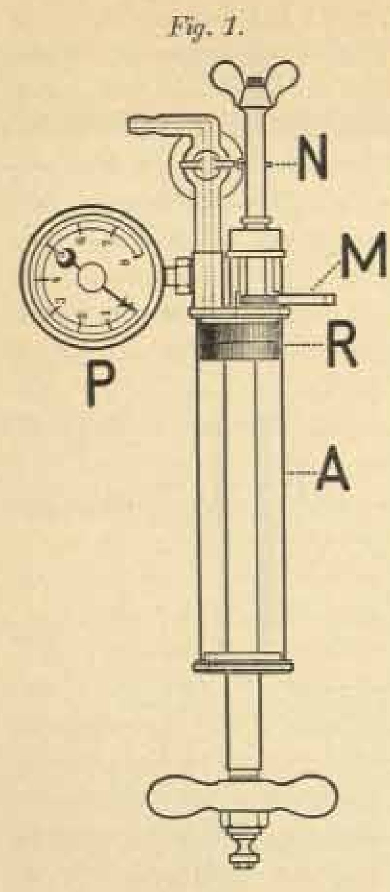
a. Explosionsvorprüfer (Fig. 1).

In dem Pumpenstiefel *A* des Apparates ist durch Zurückziehen des Kolbens *R* das eingesogene Gasgemisch abgesperrt und wird durch eine Cereisen-Zündung *M* auf Explodierbarkeit geprüft. Durch eine Sperrvorrichtung *N* ist aber unmöglich gemacht, diese Zündvorrichtung zu betätigen, ehe der nach außen führende Hahn geschlossen ist.

Bei diesen Versuchen hat sich ergeben, daß durch Cereisen-Zündung nur Gemische von 7 bis 10.3 Prozent Methangehalt zur Explosion gebracht werden; ein Manometer *P* gibt über den dabei entstandenen Druck Auskunft. Außerdem spürt die den Apparat erfassende Hand eine Erwärmung, die auch bei ganz leichten Explosionen, wo das Manometer versagt, noch wahrnehmbar ist.

Durch Kompression des Gasgemisches kann die Entzündung begünstigt und die Entzündungsgrenze so verschoben werden, daß schon

Fig. 1.



Explosionsvorprüfer.

etwas unter 7 Prozent die Explosionen beginnen und erst über 10.3 Prozent aufhören. Auch könnten durch Anwendung eines Katalysators die Entzündungsgrenzen erweitert werden, doch bietet dies für die Praxis wegen geringer Zuverlässigkeit bis jetzt keine genügenden Vorteile. Eine Erweiterung der Versuche ist aber in Aussicht genommen.

Die Entzündungsgrenzen liegen bei geringen Drucken zu nahe beieinander, um, nach Le Chatelier, den Gehalt eines ärmeren Methangemisches im Vorprüfer dadurch zu bestimmen, daß man Methan in abgemessener Menge hinzusetzt, bis die Explosionsgrenze erreicht ist oder bei methanreichen Gemischen umgekehrt Luft, bis die obere Explosionsgrenze erhalten wird. Etwas zu viel Methan bzw. Luft würde leicht das Gemisch wieder indifferent machen und so zu irrigen Resultaten führen können.

Wir werden später sehen, daß zur Untersuchung von Leuchtgas- bzw. von Wasserstoffgemischen mit Luft dies Instrument in weiterem Bereich brauchbar ist.

b. Explosionshauptprüfer (Fig. 2).

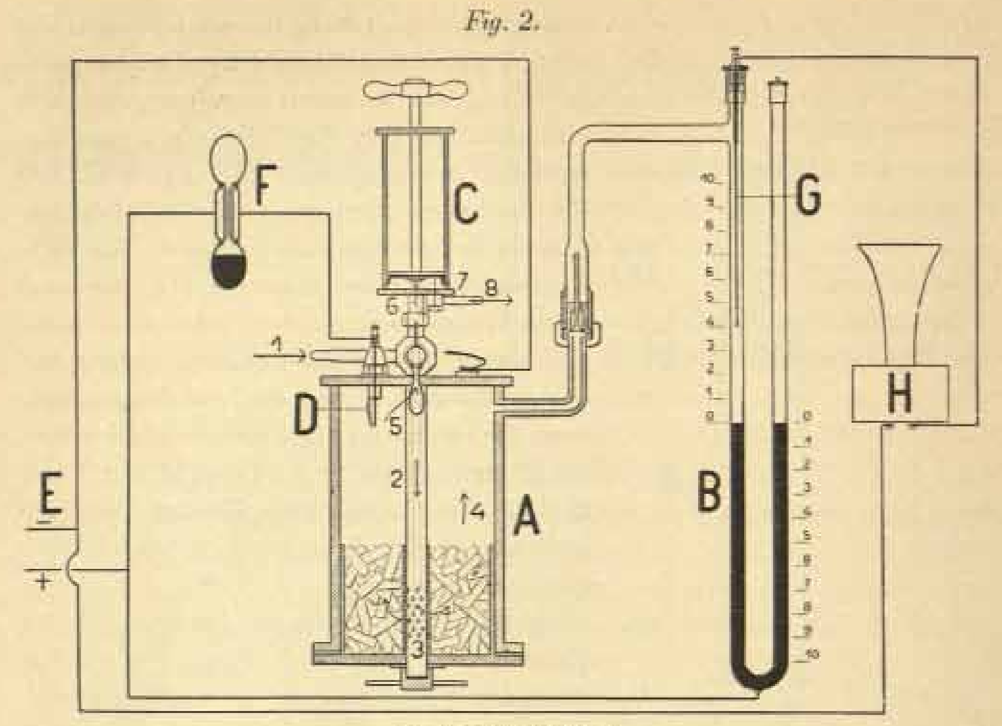
Bei Methan haben wir versucht, durch Verbrennen der Methangemische am erhitzten Platindraht zum Ziel zu gelangen.

Dieses zuerst von Coquillion angegebene Verfahren gestattet, auch die kleinsten Gehalte an Methan zu verbrennen und wurde schon mehrfach, aber wie es scheint ohne Erfolg, zur Prüfung in der Grube vorgeschlagen. Es leistet ausgezeichnete Dienste in der Laboratoriumsgasanalyse. Allerdings würden sich die zerbrechlichen Apparate, wie die Explosionspipette, die Verbrennungskapillare aus Glas oder Quarz sowie die feinen Ablesungen, für die Grube wenig eignen.

Wenn man von dem geringen Einfluß des Luftstickstoffs absieht, vollzieht sich die Reaktion zwischen Methan und Luftsauerstoff nach der Gleichung

$$\begin{array}{cccc} CH_4 + & 2O_2 = & CO_2 + & 2H_2O \\ 1\,\text{Vol} & 2\,\text{Vol} & 1\,\text{Vol} & 2\,\text{Vol}. \end{array}$$

Fig. 2.



Explosionshauptprüfer.

Bliebe die Temperatur bei der Reaktion unverändert, so würde auch das Volumen vor und nach der Reaktion ohne Kondensation das gleiche bleiben. Der auftretende Druck stammt von der Erhitzung. Dem Druck oder Schlag folgt ein Unterdruck oder Rückschlag durch Verflüssigung des Wassers, der durch Absorption der Kohlensäure noch gesteigert werden kann.

Aus der Größe des bleibenden Unterdrucks läßt sich bequem und sehr sicher auf die Menge vorhanden gewesenen Methans zurückschließen.

Der für den Grubenbetrieb bestimmte Hauptprüfer besitzt ein Explosionsgefäß *A* aus Metall.

Der Verschlußdeckel des Bodens dient auch zur Aufnahme von festem Ätzkali für die Absorption von Wasser und Kohlensäure. Oben ist das Gefäß in Verbindung mit einem Vakuummeter oder einem Quecksilbermanometer *B* sowie einer Stiefelluftpumpe *C*, die durch einen Hahn 5 abgesperrt werden kann. Das zu prüfende Gasgemisch wird von der Saugdruckpumpe von der Seite her über den Weg 1—6 durch den Bereich von Ätzkali angesogen und sodann über 7, 8 ausgestoßen.

Bei den ersten Versuchen betrug der Gasinhalt des Explosionsgefäßes etwa 140 cm^3 bei 100 g Ätzkali. Die Pumpe faßte 35 cm^3. Bei 10 Kolbenstößen war sicher der Gasinhalt ausgewechselt. Die Dimensionen lassen sich auch viel kleiner wählen.

Zum Glühen der Platinspirale D dienen zweckmäßig zwei hintereinander geschaltete Nickel- oder Bleiakkumulatoren. Die Spirale aus Platin oder Platiniridium hat einen Durchmesser von 0.15 bis 0.25 mm und ist so lang zu bemessen, daß sie in Luft fast zur Weißglut gebracht wird. Die Brenndauer, welche bei obigen Dimensionen auf 2 Minuten festgesetzt war, wird dadurch begrenzt, daß die Einschaltung des Kontaktes vermittels einer Quecksilberuhr F, nach Art der gewöhnlichen Sanduhr, erfolgt. Eine mit der Quecksilberuhr gleichzeitig umgedrehte Sanduhr mit einer Auslaufzeit von 3 Minuten gibt den Zeitpunkt der Ablesung des Manometers an. Steigt der Unterdruck über denjenigen, welcher ein je nach Vorschrift 3- oder 4 prozentiges Methangemisch hervorbringen würde, so berührt es einen Kontaktdraht, der eine weittönende Hupe erschallen oder eine rote Glühbirne aufleuchten läßt. Bei diesem Apparat sind also nur folgende Betätigungen nötig:

1. Einpumpen der Luftmischung bei geöffnetem Hahn,
2. Schließen des Hahnes,
3. Schließen des Kontaktes,
4. Ablesung des Unterdrucks.

Eine Untersuchung nimmt rund 3 Minuten oder, bei kleineren Dimensionen, viel weniger Zeit in Anspruch. Das Gefäß ist zunächst relativ groß gewählt worden, um bei der eingesogenen Gasmenge eine größere Durchschnittsprobe zu sichern. Gegen die Gefahr etwa eintretender Explosionen schützt absolut die Wiederstandsfähigkeit des Gefäßes und der dichte Abschluß desselben durch einen einfachen Metallhahn. Damit nicht dieser aus Versehen offen bleibt, ist die Vorsicht getroffen, daß erst nach Schließen des Hahnes das Quecksilber den Strom einschalten kann.

Verbrennungen bei überschüssigem Sauerstoff.

Zunächst mögen einige Versuche mitgeteilt werden:

Versuche mit einer Platinspirale von 0.2 mm und 70 mm Länge.

Prozent CH_4	Unterdruck — mm	Amp.	Bemerkung
0.5	— 8	2.82	Keine Explosion
1	— 16	2.82	» »
2	— 28	2.8	» »
3	— 46	2.79	» »
4	— 66	2.79	» »
5	— 80	2.75	» »
6	—102	2.78	explodiert
8	—148	2.79	»
10	—176	2.79	» heftig

Aus den vorstehenden Versuchen geht hervor, daß bei hellglühender Spirale auch die methanärmsten Mischungen verbrannt werden und bei $\frac{1}{2}$prozentigem Methangehalt bereits Druckdifferenzen von 8 mm auftreten. Das Verfahren genügt also den Anforderungen der Praxis vollkommen. Spurenhafte Undichtigkeiten des Apparates haben bei dem relativ großen Volumen des Explosionsgefäßes weniger Bedeutung. Der Prozeß läßt sich an dem Gang des Manometers verfolgen.

Ist das Explosionsgefäß mit reiner Luft gefüllt, so tritt beim Einschalten des Stromes zunächst Erwärmung ein, so daß ohne weiteres ersehen werden kann, ob die Spirale richtig glüht. Die Druckdifferenz betrug beim verwendeten Apparat + 10 mm.

Bei den Versuchen mit 0.5—5 Prozent Methan findet langsam fortschreitende Reaktion statt, die sich darin zeigt, daß der zunächst positive Druck allmählich zurückgeht und eventuell schon während des Erwärmens in negativen Druck übergeht.

Das Explosionsgefäß kühlt sich während der vorgesehenen Zeit von 1 Minute genügend ab, wenn nicht viele Versuche rasch hintereinander ausgeführt werden. Bei 6 Prozent (gegenüber 7 Prozent im Vorprüfer) fand die Explosion statt, deren Wirkung auf das Quecksilber durch ein Rückschlagventil gemildert wird, wonach sich der anfängliche Überdruck fast momentan in starken Unterdruck verwandelt. In diesen Fällen methanreicher Mischungen tritt Warnung durch Alarm oder Signallampe fast momentan ein.

Man hat gemeint, daß solche Versuche mit der Glühspirale zu lange Zeit erfordern. Wer aber mit dem Apparat vertraut ist, sieht sogleich nach Einschalten aus dem Gang des Quecksilbers, woran er ist, und je größer der Gehalt, also auch die Gefahr, um so rascher findet die Verbrennung statt.

In kürzeren Intervallen als in je 3 Minuten einen neuen Versuch zu machen, dürfte kaum je erforderlich sein.

Verbrennungen bei mangelndem Sauerstoff.

Während man sich mit den früheren Apparaten auf die Untersuchungen mit überschüssigem Sauerstoff beschränkt hat, sind von uns auch höherprozentige Mischungen in Betracht gezogen worden, weil beim Entnehmen vor Ort mit sogenannten Bläsern und mit den Ansammlungen unter Verschalungen an der First, also eventuell mit Gehalten von 0—100 Prozent Methan zu rechnen ist. Die Erscheinungen mit dem gleichen Apparat sind in folgender Tabelle angegeben:

Prozent CH_4	Unter- oder Überdruck — bzw. + mm	Amp.	Bemerkung
12	−150	2.79	Explodiert schwächer
15	− 88	2.77	» fast unmerkbar
20	+ 1	2.72	keine Explosion
30	+ 64	2.78	» »
40	+ 70	2.81	» »
60	− 10	2.85	» »
80	− 3	3.1	» »
100	+ 2	3.17	» »

Wie die vorstehenden Zahlen ergeben, geht der Unterdruck allmählich zurück und ebenso die Intensität der Explosion, welche schon bei 16 Prozent nicht mehr eintritt.

Bei 20 Prozent ist der Unterdruck bereits verschwunden und verwandelt sich in Überdruck, der dann weiter zunimmt, während bei 60—100 Prozent wieder schwache Unterdrucke oder ein geringer Überdruck beobachtet werden. Der Übergang zum Überdruck beruht darauf, daß durch den Mangel an Sauerstoff Kohlenoxyd und Wasserstoff (ev. auch Azetylen) entstehen, die nicht absorbiert werden.

$$2\,CH_4 + 3\,O_2 = 2\,CO + 4\,H_2O\,.$$

Die Manometeranzeigen bei Sauerstoffmangel werden dadurch unsicher, daß nur bei Weißglut der Platinspirale die Bildung von Kohlenoxyd und Wasserstoff stark in den Vordergrund tritt. Bei Rotglut kann es aber dahin kommen, daß statt der vorstehend verzeichneten Überdrucke Unterdrucke auftreten, weil dann wieder mehr Kohlensäure und Wasser gebildet wird.

Bekanntlich zerfällt Methan bei 850° und darüber schließlich vollkommen in Kohlenstoff und Wasserstoff[1].

$$CH_4 = C + 2\,H_2\,.$$

Daß die oben angewandte höhere Temperatur noch nicht ausreicht, um rasch größere Mengen Methan in diesem Sinne zu zersetzen, ergibt sich aus den geringen Druckdifferenzen, die bei Anwendung von reinem Methan aufgetreten sind.

Für die Praxis wäre zu merken, daß das Auftreten von Überdrucken immer auf Sauerstoffmangel und höhere Methankonzentration hindeutet. Sollte einmal das Auftreten eines geringen Unterdruckes zu Zweifeln Anlaß geben, ob derselbe durch geringen Methangehalt oder durch Sauerstoffmangel veranlaßt sei, so gestattet der

[1] Vgl. M. MAYER und V. ALTMAYER, Ber. d. D. Chem. Ges. **40**, 2143 (1907).

Apparat in einfacher Weise die Entscheidung zu treffen. Man öffnet den Hahn und pumpt dann ohne weiteres noch 3 Kolbenstöße Luft hinein, schließt den Hahn und bringt nochmals die Spirale zum Glühen (Nachprüfung).

Im Falle vorher schon Sauerstoffüberschuß vorhanden und die Verbrennung beendigt war, wird jetzt keine Niveaudifferenz im Manometer mehr auftreten. Lag aber Sauerstoffmangel vor, so wird es jetzt gewöhnlich zur Explosion und zum Auftreten von hohen Unterdrucken kommen.

In ganz seltenen Fällen, bei 80 und 100 Prozent Methan kommt es bei diesem Verfahren vielleicht zunächst noch zu Überdrucken, durch die ja ebenfalls hochprozentige Mischungen angezeigt werden. Läßt man nun aber nochmals den Überdruck ab, pumpt noch 3 Kolbenstöße Luft hinzu und schaltet nochmals die Glühspirale ein, so treten dann auch hier Explosionen und Unterdrucke auf.

Beispiele mögen das Gesagte illustrieren:

Prozent CH_4	Druck mm	Amp.	Bemerkung
80	− 3	—	keine Explosion
+3 Pumpenstöße Luft	+ 70	—	» »
+3 » »	−150	—	Explosion
100	+ 2	—	keine Explosion
+3 Pumpenstöße Luft	+ 79	—	» »
+3 » »	−150	—	Explosion

So kleine Mengen Luft, wie sie hier gebraucht werden, sind leicht in Gummiluftkissen in die Grube mitzunehmen.

Gegenüber anderen Verfahren zum Nachweis des Methans zeichnet sich dasjenige durch Verbrennen besonders aus, weil es gerade die Vorgänge vor Augen führt, welche durch Entzündung des Gasgemisches entstehen können. An den Änderungen des Quecksilberniveaus im Hauptprüfer bekommt man, wie erwähnt, gewöhnlich sofort ein Bild, wie langsam oder rasch die Verbrennung verläuft und ob die Möglichkeit einer Explosion bereits vorliegt.

Absorption von Wasserdampf und Kohlensäure vor und nach dem Erhitzen erfolgen bei der großen Menge Ätzkalis fast momentan; etwas mehr oder weniger Feuchtigkeit im Gasgemisch hat auf das Resultat keinen merkbaren Einfluß.

Der Apparat ist absichtlich so konstruiert, daß die Gasgemische angesogen werden, ohne daß sie ein Filter zu passieren haben, damit auch vorhandener Staub, besonders Kohlenstaub, ihren Einfluß auf die Verbrennung zur Geltung bringen kann. Man braucht

also für die beschleunigende bzw. verzögernde Wirkung des Kohlenstoffs keinerlei Gefahrenzuschläge oder Reduktionen vorzunehmen.

Auf hohe Genauigkeit ist bei diesen nur praktischen Wert beanspruchenden Versuchen nicht gesehen worden. Immerhin kann eine Genauigkeit von 0.1 Prozent bei den gewöhnlichen Wettergasen leicht erreicht werden.

Im Anschluß an den Hauptprüfer ist noch ein Registrierwetterprüfer konstruiert worden, welcher in ¼stündigen Pausen Analysen selbsttätig ausführt und das jedesmalige Resultat graphisch aufzeichnet. Derselbe ist bestimmt, an geeigneten Orten nach obigem Prinzip den Methangehalt der abziehenden Wetterströme zu kontrollieren und bei Übersteigen von 3 oder 4 Prozent zu warnen.

II. Mischungen von Luft mit Leuchtgas oder Wasserstoff.

Mit den beschriebenen Vorrichtungen kann man natürlich die Beimischung irgendwelcher brennbaren Gase in der Luft erkennen. Für Leuchtgas und Wasserstoff liegen die Verhältnisse sogar noch viel günstiger.

In dem Vorprüfer detoniert Leuchtgas mit Luft beim Gehalt von 8 bis 25 Prozent, Wasserstoff bei 9 bis 42 Prozent. Gegenüber dem engbegrenzten Methangehalt (7 bis 10,3 Prozent) ist es daher viel leichter, Leuchtgas oder Wasserstoff schon mit dem Vorprüfer nachzuweisen. Daß Leuchtgas und Wasserstoffmischungen erst bei höherem Prozentgehalt explodieren als die Methanmischungen, hängt wohl damit zusammen, daß bei gleichem Prozentgehalt bei Methan die größte Menge Sauerstoff reagiert, bei Leuchtgas (bestehend aus 40 Prozent CH_4 + 40 Prozent H_2) weniger, bei Wasserstoff noch weniger. Der Nachweis der noch nicht explodierenden Mischungen erfolgt im Hauptprüfer in gleicher Weise wie bei Methan.

Bei hochkonzentrierten Gemischen genügt hier die Anwendung des Vorprüfers, weil es ein Leichtes ist, zu einem explosiblen Gemisch zu gelangen.

Trotzdem Leuchtgas und Wasserstoff erst bei höheren Prozentgehalten im Vorprüfer und entsprechend auch im Hauptprüfer detonieren, beginnt ihre Verbrennung schon bei einer Temperatur, die Methan noch unverändert läßt. Setzt man die Amperezahl durch Einschaltung eines Widerstandes oder durch Verwendung von nur einer Akkumulatorzelle so weit herab, daß die Spirale nur rot glüht, so findet nicht bei Methan, wohl aber bei Leuchtgas und in schnellerem Maße bei Wasserstoff Verbrennung statt. Auf diese Weise ist es

möglich, eine Beimischung von Leuchtgas oder Wasserstoff zu Methan nachzuweisen.

Da man einen Wasserstoffgehalt des Grubengases für gefahrerhöhend ansieht, würde man bei geeigneter Handhabung des Hauptprüfers auch imstande sein, solche Gefahrerhöhung nachzuweisen.

Es soll wiederholt werden, daß die mitgeteilten Verfahren keinen Anspruch darauf machen, mit exakten Analysen zu konkurrieren, wie sie im Laboratorium erhalten werden können; sie ermöglichen aber, was wichtiger ist, in der Grube rasch ein Urteil zu gewinnen und den Gefahren rechtzeitig zu begegnen.

Auf den Gruben dürfte es nicht an Personal fehlen, welches die Apparate rasch und sicher zu handhaben lernt. Auch die immer zunehmende Gefahr der Leuchtgas- und Wasserstoffexplosionen wird durch die beschriebenen Apparate von weniger geschultem Personal leicht erkannt werden können.

(Für die beschriebenen Verfahren und Apparate ist gesetzlicher Schutz angemeldet.)

Ausgegeben am 28. August.

Berlin, gedruckt in der Reichsdruckerei

SITZUNGSBERICHTE 1914.
XXXV.
DER
KÖNIGLICH PREUSSISCHEN
AKADEMIE DER WISSENSCHAFTEN.

22. October. Gesammtsitzung.

Vorsitzender Secretar: Hr. Planck.

*1. Hr. Schäfer sprach über die Verbreitung des Deutschtums nach dem Osten.

Er führte aus, daß diese Verbreitung nicht, wie die weit überwiegende Auffassung ist, durch Waffengewalt erreicht, sondern zu allermeist friedlicher Arbeit verdankt wurde, und daß dabei durchweg die angestammten Herrscher und einheimische kirchliche und weltliche Große die Leiter und Förderer waren.

2. Hr. Kuno Meyer legte eine Abhandlung vor: Zur keltischen Wortkunde. VI.

Es werden u. a. folgende altirische Wörter besprochen: *cet* 'es ist erlaubt' aus lat. *licet*; *abān* 'Gebärde', eine Kurzform aus *abairt*; *gelit* 'Blutigel', eine Partizipialbildung auf *-iti* zur √ *gel* 'vertilgen'; *genit* 'Lachgeist', eine ebensolche Bildung zu *gen-* 'lachen' usw. Ein Wörterverzeichnis zu I—VI ist beigefügt.

3. Das ordentliche Mitglied der physikalisch-mathematischen Classe Hr. Schwarz hat am 6. August und das correspondirende Mitglied derselben Classe Hr. Johannes Strüver in Rom am 19. August das fünfzigjährige Doctorjubiläum gefeiert. Beiden Jubilaren hat die Akademie Adressen gewidmet, die weiter unten im Wortlaut abgedruckt sind.

4. Folgende Druckschriften wurden vorgelegt: zwei neu erschienene Bände akademischer Unternehmungen, Lief. 41 des »Tierreich«, enthaltend die *Bethylidae* bearb. von J. J. Kieffer (Berlin 1914) und Bd. 22 der Deutschen Texte des Mittelalters enthaltend das Väterbuch hrsg. von K. Reissenberger (Berlin 1914); Tom. 4, Fasc. 1 des von der Savigny-Stiftung unternommenen Vocabularium Iurisprudentiae Romanae (Berolini 1914); von den Monumenta Germaniae historica die Bände Auctores antiquissimi. Tom. 15, Pars 2 enthaltend Aldhelmi opera ed. R. Ehwald. Fasc. 2 (Berolini 1914) und Legum Sectio IV. Constitutiones et acta publica imperatorum et regum. Tom. 6, Pars 1, Fasc. 2 (Hannoverae et Lipsiae 1914); Bd. 3 des von der Akademie unterstützten Werkes E. Sachau, Syrische Rechtsbücher (Berlin 1914); von Hrn.

von Auwers Bd. 3 seiner Bearbeitung der Bradley'schen Beobachtungen an den alten Meridianinstrumenten der Greenwicher Sternwarte (Leipzig 1914) und von Hrn. von Wilamowitz-Moellendorff seine Ausgabe der Tragödien des Aeschylus und seine Interpretationen dieses Dichters (beides Berlin 1914).

5. Zu wissenschaftlichen Unternehmungen hat die Akademie bewilligt:

durch die physikalisch-mathematische Classe: Hrn. F. E. Schulze für die Drucklegung des Nomenclator animalium generum et subgenerum 2000 Mark; für eine von den cartellirten deutschen Akademien ausgehende Expedition auf den Pic von Teneriffa zum Zweck von lichtelektrischen Spectraluntersuchungen 500 Mark; Hrn. Dr. Victor Franz in Leipzig zu Untersuchungen an Mormyriden 120 Mark; Hrn. Prof. Dr. Heinrich Poll in Berlin zu Vererbungsstudien am Menschen 600 Mark; Hrn. Privatdocenten Dr. Adolf Walther in Giessen zu Vererbungsversuchen an Hühnern 250 Mark;

durch die philosophisch-historische Classe: für das Cartellunternehmen der mittelalterlichen Bibliothekskataloge für das Jahr 1914 noch 300 Mark; Hrn. Privatdocenten Dr. Hans Jantzen in Halle a. S. zu einer kunsthistorischen Forschungsreise nach Frankreich 1500 Mark; Hrn. Prof. Dr. Adolf Schulten in Erlangen zu einer topographischarchäologischen Forschungsreise in Spanien 1000 Mark.

Seit der letzten Gesammtsitzung vor den Sommerferien (23. Juli) hat die Akademie das ordentliche Mitglied der physikalisch-mathematischen Classe Adolf Martens am 24. Juli, und das ordentliche Mitglied der philosophisch-historischen Classe Reinhold Koser am 25. August durch den Tod verloren.

Zur keltischen Wortkunde. VI.

Von Kuno Meyer.

102. Altir. *cet* 'es ist erlaubt'.

Stokes und Thurneysen haben versucht, ein angebliches Substantiv *cet*, das 'Erlaubnis' bedeuten soll, mit ähnlichen Wörtern der britischen oder anderer indogermanischer Sprachen in Einklang zu setzen, und Pedersen wiederholt in seiner Vergl. Gramm. § 51 die Ansicht Thurneysens, daß es zu lat. *cēdo* aus **kezdo* und weiterhin zum avest. *syazd-* zu stellen sei. Mir ist *cet* als einheimisches irisches Wort immer verdächtig gewesen, da es mit Ausnahme von mittelir. *cetaigim*[1] 'ich gestatte, erlaube' zu gar keinen Ableitungen geführt hat, in der Komposition nicht verwendet wird und überhaupt ganz isoliert dasteht. Es kommt hinzu, daß es sich nicht um ein altes Substantiv handelt; denn die älteste Bedeutung ist nicht 'Erlaubnis', sondern 'es ist erlaubt'. So glossiert es im Buch von Armagh 18a[1] 'fiat sicut vis' (vgl. *cet, cet! ol Māedōc*, LL 285 b 21; *cet, cet! ol a muinter fri Ēmēne*, Anecd. I 41, 7). All dies hat mich auf den Gedanken gebracht, daß wir es einfach mit einer Abkürzung des lat. *licet* zu tun haben, die aus der Klostersprache stammt. Daß bei einer solchen Verkürzung nicht die erste betonte Silbe gewählt ist, sondern die letzte, liegt daran, daß diese schließlich doch wie beim Echo mehr ins Ohr fällt und festgehalten wird. Das ist ja auch mit ir. *'chum* aus *dòchum*, *'diu* aus *dìdiu* und, um ein modernes Beispiel zu erwähnen, mit dem engl. *'bus* aus *òmnibus* der Fall.

Das Wort wurde erst im Mittelirischen substantiviert und ein Gen. *ceta* (z. B. *d' fis a ceta*, Eriu I 132) analogisch dazu gebildet.

103. Eine irische *vox nihili*.

Ich habe in den Contributions S. 362 ein Wort *cia* 'Mann' angesetzt, worin Pedersen § 527 mir gefolgt ist. Wir stützten uns dabei

[1] Dazu *ceaduightheach* 'erlaubt, gestattet', Three Shafts 163, 1.9 und neuir. *ceadaim* 'I permit', *ceadach* 'having permission'.

besonders auf einen mutmaßlichen N. Pl. *ciai*, der Salt. na Rann 5888 vorzuliegen scheint. Die Stelle lautet:

batar ciai ic [c]omc[h]laidbed.

Stokes druckt *bátar*, es ist aber in der Handschrift kein Längezeichen zu sehen. Hier ist nun *ciai* offenbar ein Versehen des Schreibers für *cian*, das im Reime mit *dian* in der voraufgehenden Zeile steht (*co līn a ṅdroṅg ṅdian ṅdaigrech*). Die beiden Wörter reimen noch einmal gleich darauf in Z. 5899/5900. Wenn aber *cia* in der künstlichen Sprache, die 'bērla na filed' genannt wird, in der Bedeutung des ir. *fer* 'Mann' vorkommt, wie z. B. *cia in leapair si* 'der Besitzer dieses Buches', O'Gr. Cat. 129, so ist das aus dem Gebrauch des Pronomens *cia* in unbestimmtem Sinne herzuleiten, also eig. 'der Jemand dieses Buches'.

104. Altir. ***Bauber*** n. pr. m.

In der Liste von berühmten Personen Irlands, die nur mit ihrem Patronym benannt werden (*ōenmeic hĒrenn*, LL 369 f), findet sich ein *Mac Bauber* (369 g 36), was wohl für *Mac Baubir* verschrieben ist. Ein ir. Name *Bauber* würde sich gut zu gall. *Babrinius* stellen.

105. Altir. ***con-grād*** m. 'Ranggenosse'.

Neben *com-grād* 'den gleichen Rang habend', wovon ich in den Contributions Beispiele gegeben habe, liegt ein älteres *con-grād* in derselben Bedeutung, das die Wörterbücher nicht verzeichnen. Es kommt SR Z. 4179 vor:

eirgid huili coṅgrāid glain hi comdāil friar ṅ Dūlemain
'geht alle ihr herrlichen Ranggenossen unserm Schöpfer entgegen!'

106. Mittelir. ***dīascach*** 'untadelig'.

Mit diesem Worte wußte ich in den Contributions ebenso wie Stokes im Index zu *Saltair na Rann* nichts anzufangen. Es ist aber wohl sicher von *dī-aisc* 'untadelig' mit *-ach* weitergebildet.

Ich kenne es nur aus SR 7409:

Rī sāer Teclai ndīascaig ndil
'König, der die untadelige liebe Thekla rettete'.

107. Ir. ***abān*** f. 'Gebärde'.

Zimmer hat zuerst erkannt, daß im Irischen wie von Personennamen so auch von anderen Kompositis Kurzformen auf deminutives *-ān* gebildet werden, wie *dobrān* 'Otter' statt *dobur-chū*, *māelān* 'Stumpf-

schuh' statt *mäel-assa* usw. Daß aber solche Formen auch von nichtkomponierten Wörtern gebildet werden, ist noch nicht bemerkt worden. Freilich kann ich zunächst nur ein Beispiel beibringen, das eine Augenblicksschöpfung des Reims wegen sein mag. Es liegt in folgenden Versen des *Saltair na Rann* vor, wo es Z. 3029/30 heißt:

Romert Labān linib gīal *ind*[1] *abān forsrabi Rachīal.*

Es handelt sich um den Betrug Rahels, die sich stellt, als ob die Wehen sie befallen hätten ('quia iuxta consuetudinem feminarum nunc accidit mihi', Gen. XXXI v. 35), und es ist zu übersetzen:

'Die Gebärde, welche Rahel annahm, betrog Laban.'

abān, das auf *Labān* reimt, ist also Kurzform von *abairt* f. 'Gebärde, Minenspiel' usw. und bewahrt das Geschlecht.

Zu den Belegstellen für das Wort *abairt* ist in den Contributions[2] noch hinzuzufügen:

abair rum anosa cidne apairte dorigne m'athair ag bein a cind doit dé ·i· do Art, Buch von Fermoy, fol. 34b.

108. Altir. *gelit* f. 'Blutigel'.

Das Glossar der Handschrift H. 3. 18 enthält in col. 79c folgenden Eintrag: *gelit, id est cilit; cile* [χεiλη] *enim grece, labia latine; gelit didiu ·i· bél-ithidh.* Ebenso O'Mulc. § 634: *gelid; cile enim grece labia; gelid quia ithid.* Hier faßt Stokes im Glossar *gelid* fälschlich als 3. Sg. von *gelim* 'I consume'. Wir haben es vielmehr mit einer alten Partizipialbildung auf *-it* aus **-nti* zu tun, wie sie z. B. in *birit, Brigit, epit* vorliegt. Die Wurzel *gel-* 'verschlingen, vertilgen'[3] (skr. *jilāti* usw.) hat im Irischen gewöhnlich die Bedeutung 'abgrasen'. Doch wird sie auch von der Verheerung des Sturmes oder der Vertilgung durch Feuer gebraucht, wie z. B. in der folgenden Strophe aus O'Mulc. 830 g = H. 3. 18, col. 614b:

Ronbris, ronbrūi, ronbāid, *a Rī rīchid*[4] *rindglaine,*
rongeilt in gāeth feib grilius *nemāed forderg fidnaige.*

'Es hat uns gebrochen, es hat uns zermalmt, es hat uns ertränkt, o Himmelskönig des Sternenglanzes! Der Sturm hat uns verzehrt wie tiefrotes Himmelsfeuer[5] Holzwerk verzehrt.'

---

[1] Wohl auszulassen.

[2] Wo *abairt*, nicht *ābairt* zu lesen ist.

[3] Siehe Pedersen, vgl. Gr. § 738 und § 58, 3. Zu seinen Beispielen kommt noch *geltatar*, Anecd. II, 59.

[4] in richid Hs.

[5] d. h. der Blitz. Der Glossator scheint allerdings *nem-aed* anders aufzufassen (*nemaodh la cerda 7 goibnin*).

Vgl. meine Erklärung des Namens Cormac Gelt Gāith in Ält. Dicht. I, S. 32.

In mehreren indogermanischen Sprachen ist nun der Name für den Blutigel aus dieser Wurzel hergeleitet (altind. *jalukā*, bret. *gélaouen*, kymr. *gel* f., korn. *ghel*) und so wird auch unser *gelit* dieses Tier bedeuten.

109. Altir. *genit* f. 'Lachgeist'.

Eine andere ebensolche Bildung ist *genit*, eine bekannte Bezeichnung für Kobolde, die sich besonders in Bergschluchten aufhalten (*geniti glinne*). Daß es weibliche Wesen sind erhellt aus der Glosse bei O'Mulc. § 640: *genit glinde ·i· ben i nglinn* sowie aus einer anderen in Lu 47a 6: *genaiti ·i· mnā*. Es werden Geister gewesen sein, deren schallendes Gelächter das Echo der Bergwände weckte; denn das Wort stellt sich zu ir. *gen*, kymr. *gwen*, obgleich diese Worte zumeist 'Lächeln' bedeuten. Aber ir. *gen gāire* 'schreiendes Lachen, gellendes Gelächter' zeigt die gewünschte Bedeutung. Ein Verbum **genaim* (kymr. *gwenu*) ist mir freilich unbekannt. Von *genit* abgeleitet ist *genitecht* f., das z. B. in Baile Suibne § 11 (*ar gealtacht 7 ar geinidecht*) und MR 236, 12 (*re geltacht 7 re genidecht*) vorkommt.

110. Altir. *Condligān* n. pr. m.

Im Index zu dem Faksimile von Rawl. B 502 habe ich diesen Namen fälschlich als *Conlīgān* angesetzt. Dazu verleitete mich der Akut über dem *i*, der LL 320 e 7 (*Condlígain*) steht. Es ist aber entweder wie so oft nur das über *i* gesetzte Zeichen, welches den kleinen Buchstaben herausheben soll, wie unser I-Punkt, oder, wenn es ein Längezeichen sein soll, ist es fälschlich über die vorletzte statt über die letzte Silbe geraten. Ein irischer Name *Condligān* stellt sich nun schön zu kymr. *Cynddylan* und ist als Kurzform von **Con-dliged* zu fassen, ein Bahuvrihi, das sich etwa mit 'hündischem Gesetze folgend' wiedergeben läßt.

111. Altir. *bruigred* n.

Stokes druckt in seiner Ausgabe des Saltair na Rann Z. 965/6 wie folgt:

Ri robennach bruig reid inblaith, Pardus fri suirded sóergraid.

Hier ist statt *bruig reid*, was Stokes wohl als *bruig rēid* auffaßte, sicher *bruigred* zu lesen, wodurch wir sowohl Alliteration mit *inblāith* als auch Reim mit *suirded* erhalten. Das sonst nicht belegte Wort ist eine Bildung von *bruig* 'bewohnte Gegend', das lautlich unserem 'Mark' entspricht, mit dem neutralen Kollektivsuffix *-red* (kymr. *-rwydd*).

112. Ir. *'tī = intī.*

Diese gekürzte Form des maskulinen Artikels mit suffigiertem pronominalen *ī* findet sich SR 1317, wo nicht mit Stokes in *cī* zu ändern ist. So ist auch das Fragezeichen nach Z. 1318 zu tilgen und zu lesen:

Tī rotbrathaig, a ben bāith, rotrathaig nārbsat firgāeth

'der dich betrogen hat, törichtes Weib, hat erkannt, daß du nicht wahrhaft klug warst'. Dem entspricht die Prosaauflösung (LB 111a 33): *Is ē intī cētna, ol sē, ·i· Lucifer.*

Dieses *tī* kehrt in Z. 5780 wieder, wo Stokes es im Glossar richtig erklärt hat:

ba trēnfer dūairc 'tī thucsat

'der, den sie brachten (nämlich Goliath), war ein grimmer Kämpe'. Ich füge hinzu, daß sich die spätere Form *intē*, welche unter dem Einfluß von *ē* 'er' entstanden ist, in Z. 1659 durch den Reim mit *Dē* gesichert vorfindet. Im Arch. III S. 307 § 22 hatte ich sie ebenfalls in der gekürzten Form *'tē* in einem mittelirischen Gedichte nachgewiesen, das in den Anfang des 11. Jahrhunderts zu setzen ist. Hier liegt sie nun schon für das Jahr 988 vor.

113. Komposita mit ir. *secht-*

In meinem Beitrag zu A Miscellany presented to J. M. Mackay S. 232 hatte ich für Ir. T. III 53, 25 ein Kompositum *secht-chaindel* 'sieben Kerzen' angenommen und durch ein mir aus der Lektüre bekanntes *secht-muir* 'sieben Meere' und den Personennamen *Secht-fili* erhärtet. Eine vierte Zusammensetzung mit *secht* findet sich SR 1996: *fair doberthar sechtdīgal* 'an ihm wird eine siebenfache Rache genommen werden'.

114. Altir. *tre-mūr* m. 'dreifache Mauer'.

Z. 2545/6 in Saltair na Rann lautet:

iar sin rogab techt for cūl in dīliu trōeta tremūr.

Wenn Stokes im Index *tremūr* als *trem-ūr* ansetzt und mit 'very recent' übersetzt, so kann er nur geraten und die Stelle im Zusammenhang nicht verstanden haben. Es handelt sich um ein Kompositum mit *tre-* 'drei', und die Verse sind zu übersetzen: 'Danach fing die Sündflut, welche dreifache Mauern niederwarf, an, zurückzuweichen'. Zur Konstruktion von *trōeta* (Gen. Sing. von *trōethad*) *tremūr* vgl. Älteste Dichtung I 56 § 3, wo sich zu den dort gegebenen Beispielen noch *dīliu*

thromm trōcta trēnslūag SR 2626, *ōlha a lind trōcta slūag* ib. 2297, *tor trōcta trīath*, ib. 5579, *mac mīn mōrgarg mūchtha āir* Rawl. 502, 84 b 30 und *Muiredach, muir mūchda āir* ib. 85 a 7 hinzufügen läßt.

115. Ir. *dein, din.*

Neben dem Adjektiv *den* 'gut, tüchtig, tapfer', welches Pokorny Zfvgl. Spr. XLI, S. 152 mit lat. *bonus* (aus **dueno-*) zusammengebracht hat, liegt in derselben Bedeutung ein i-Stamm *dein*, der, ebenso wie die i-Stämme *baile, glain, lōir, nāir* usw., besonders gern von Dichtern gebraucht wird. So findet er sich häufig im *Saltair na Rann*, wo Stokes im Index die Belegstellen aufführt, zu denen noch Z. 955 (*cēt tengad dein*) kommt. Außerdem liegt das Wort Z. 6909 in dem Kompositum *glērdin* vor, das auf *trēnfir* reimt:

Glērdin rofersat in cath trēnḟir Dauīd co mōrrath

'Glänzend tapfer schlugen die Kämpen Davids mit großer Gnade die Schlacht'.

116. Ir. *bodbamlacht* f. 'kriegerische Wut'.

In den Contributions S. 161 habe ich aus Cog. 52, 15 ein Wort *badamlacht* übernommen. Hier liest die Handschrift B *nāimdemhlacht* 'Feindseligkeit'. Es handelt sich wohl sicher um eine Verschreibung für *badbamlacht*. Ein Adj. *bodbamail* kann ich zwar nicht belegen, dagegen kommt Cog. 52, 5 *badbaide* vor, das in den Contributions nachzutragen ist.

117. Altir. *sina(i)p* f. 'Senf'.

Dies Lehnwort ist meines Wissens noch nicht gebucht worden. Es findet sich YBL 164 b 43 im Gen. Sg. *cutruma grāinni na sinaipi* 'gleich schwer wie ein Senfkorn'.

118. Altir. *scolōc.*

Ich würde dies bekannte Wort hier nicht erwähnen, wenn es nicht immer wieder als eine Entlehnung aus dem got. **skalkaz* in der Bedeutung 'Leibeigener' angeführt würde, so zuletzt von Much, Deutsche Stammeskunde, S. 44. Es ist eine Kurzform auf *-ōc* von *scolaige*[1], 'Schüler', d. h. Klosterschüler, und bezeichnet besonders diejenigen, die Dienste tun und aufwarten mußten, weshalb es z. B. in Aisl. Meic Conglinne S. 13 mit *timthirid* abwechselt. Das Wort schwankt zwischen

[1] Aisl. M. 17, 11 steht *scolaige*, nachdem vorher *scolōc* gebraucht war. Ich hatte Unrecht, es in *scolōc* zu ändern.

mask. und fem. Geschlecht, bis sich in der neueren Sprache das letztere festsetzt wie bei allen Bildungen auf *-ōc*. So heißt es Aisl. 13, 21 und 114, 13 im Vokativ *a scolōc*, dagegen 17, 10 *a scolōic* im Reime mit *orōil*. Zu den dort im Glossar aufgeführten Belegstellen kommt noch *tōisech na scolōc*, Misc. Arch. Soc. S. 140, 13 (Kells Charters) hinzu.

119. Altir. *fātal*.

Dies bisher nicht erkannte Wort liegt an drei Stellen in Gedichten vor, wo es überall auf *bātar* reimt. Dem Zusammenhange nach scheint es 'Geschick, Schicksal' zu bedeuten, und es ist also wohl ein Lehnwort aus lat. *fātāle*. In Imram Snēdgossa (ed. Thurneysen § 20) heißt es:

Tuc in fer sin sāssad somblas, sochla fātal,
dona clērchib isin curach mbec i mbātar,

wo des Reimes wegen nicht mit dem Herausgeber an *ātal* zu denken ist. Ferner LL 21 a 15:

dā mbātar na rīg rādim fri fātal fīr adfēdim

'als die Könige, von denen ich spreche, dem wahren Schicksal anheimfielen, das ich erzähle'.

Und schließlich SR Z. 3563:

ba trūag a fātal cen brīg co mbātar fūad inn airrīg

'traurig war ihr ohnmächtiges Schicksal, da sie vor den Unterkönig geführt wurden'. Stokes setzt im Index fälschlich die Bedeutung 'lingering, delay' an, die er aus O'Briens *fadáil* entnimmt, einer Ableitung von *fada* 'lang'.

120. *to-for-ad-cī* 'überragen'.

Thurneysen hat zuerst (Lesebuch S. 66) erkannt, daß dieses Verbum in *dofarcai* in den St. Galler Versen vorliegt, so daß die Grundbedeutung 'überschauen' ist. Da Pedersen dies Kompositum unter *ci-* (§ 683) nicht aufführt, setze ich noch einige weitere Belegstellen hierher.

dodonfarcadar 'der uns überragt', Rawl. 502, 125 b 10; *la Rīg dodonfarci* LL 286 a 27, wo es auf *darti* reimt. Häufig ist in SR die dritte Sing. Ind. Präs. Act. rel. *thargcai* 'welcher überragt'. So ist Z. 5 statt *thargca* zu lesen. Vgl. ferner Z. 161, 654 (*targ[cai]*), 866, 4498, 6679, 7002, 7163, 8173.

121. Ir. *buile* = *bile*.

Zu der Schreibung *dail*, *duil* für *dil* (s. Contrib. s. v.) gesellt sich auch *buile* statt *bile* 'alter Baum'. Es wird SR 150 so geschrieben, um

den Reim mit *uile* zu markieren. Das *b* ist nicht palatal. Die Stelle lautet:

Rī na n-uile n-adbar n-ān, ar mbuile bladmar bithmār.

Hier ist *bile* poetisch im Sinne von 'schützender Baum' von Gott gebraucht wie oft, z. B. *ronfāema ar* [*n*]*dinn-bile*, SR 8223.

122. Altnordische Personennamen im Irischen.

Zu den von Stokes in 'Linguistic Value of the Irish Annals' gesammelten Namen nordischen Ursprungs lassen sich noch folgende hinzufügen.

Īfīt m. aus *Ívitr*. LL 205 b 48.

Mōd mac ***Herling***, LL 172 a 18, d. i. Móđ, Sohn des Erlingr.

Ōisle m., Three Fragm. A. D. 866, *hUisli*, FM 861, aus *Auisle*.

Ragnailt f. aus *Ragnhildr*. LL 141 a 36: *Ragnailt ingen Amlāib arnaid.*

Raibne m. wohl aus *Hrafn*. LL 204 b 9: *im Bāre, im Raibne robūi* | *trī cēt allmarach ar cūi.*

Scelling m. FM. A. D. 1154: *mac Scelling*, a Gall-gōidel.

Sort-adbud m. LL 172 a 10 *Sortadbud sort.* Hier gibt *sort* das altn. *svartr* wieder. Vielleicht ist *Adbud* die Wiedergabe von altn. *Hödbroddr*.

Tolbarb m., Cog. 78, 16.

Uchmad m. LL 43 b 32: *lecht Uchmaid rīg Lochlainne.*

123. Altir. *ōmothā* 'von an'.

Diese Bildung stellt sich zu *cenmithā*, *iarmithā* (Thurn. § 756, Ped. § 321, 1 und 641). Sie kommt in einem Gedichte in Rawl. 502, S. 83 a 53 vor:

ōmothā Labraid na lœm co Bresal inbrec inbrīatharchœm.

124. Altir. *aue*, *ūe* f. 'Enkelin'.

Zu den in 'Hail Brigit' S. 24 und in der Zeitschr. f. celt. Phil. VIII S. 600 gesammelten Beispielen für das Femininum *ūe* kommt noch SR 6006: *a hūa engach Athemas* (Michal).

125. Kymr. *moelrhon* 'Seehund'.

In diesem Worte ist *rhon* offenbar aus altengl. *hrān* entlehnt, das ja auch ins Irische in der Form *rōn* übergegangen ist.

126. Falsche Rückbildungen im Irischen.

Zu der bekannten Rückbildung *do-fongim* aus *tongim* 'ich schwöre' läßt sich noch eine andere stellen. Sie liegt in *doāi-siu* zu *tāi-siu* vor, das in Immacallam in dā Thūarad § 128 in der Redensart *cia doāisiu mac?* 'wessen Sohn bist Du?' vorkommt.

127. Altir. *airne* m. 'Wache'.

Dies aus dem Sagentitel *Airne Fingin* bekannte Wort (vgl. *airne i ndeochaid Fingen* LL 198 b 14), wo es 'Nachtwache' bedeutet, ist wohl mit singulativem *-ne* aus *aire* 'Aufmerksamkeit' gebildet. Wie Anecd. II S. 2, 10 (Nom. Sg. *int aire*) zeigt, ist es männlichen Geschlechts. In der späteren Sprache ist es mit *-ēn*, *-ēān* weitergebildet, z. B. *airnēn oidchi so fūm*, Egerton 1782, fol. 19a marg. sup., *áirneán* 'night work', Dinneen.

128. Altir. *mīas-chūad.*

Das aus lat. *mēnsa* entlehnte ir. *mīas* bedeutet in der Regel eine Schüssel, aber, wie *cūach lān do airgead 7 mīas ōir tairis* (Betha Molaga) zeigt, auch den schüsselartigen Deckel eines Trinkgefäßes. Dazu stellt sich das Kompositum *mīas-chūad*, welches Fél.[2] S. 94, 11 (*condarāinic a chuid a mīaschūad* [sic leg.] *gach manaig isin tig*), wo Stokes mit 'platter' übersetzt, und in dem folgenden Verse aus Imram Māile Dūin (Anecd. I § 26) vorliegt:

mēit longchore nō mīaschūad mōr

'so groß wie ein Kessel oder ein großer Deckelbecher'.

129. Zum Wortschatz des *Saltair na Rann.*

Hier stelle ich einige Berichtigungen und Zusätze zu dem Index Verborum in Stokes' Ausgabe zusammen; bei den Berichtigungen handelt es sich meist um voces nihili.

»alchur [leg. allchur?] 7365.« Die Stelle lautet:

Rī rosāer Dauīd alchur   dia mbāi a ōenur is dīthrub.

Es kann kein Zweifel sein, daß *alchur* für *ar chur* steht, sowohl weil *ar* die bei *sōeraim* erforderliche Präposition ist, als des debide-Reims wegen. *cor* ist hier im Sinne von 'Fall, Untergang' gebraucht.

»all-glan, 1656.« Es handelt sich um folgende Stelle:

co n-aittreib thalman cech than,   co nnem nallglan nōebūasal.

Die Alliteration zeigt, daß wir es mit einem Worte *nall-glan* zu tun haben. Wenn auch die Bedeutung von *nall* nur durch die Glossa-

toren bekannt ist, die es mit *ūasal, mōr, adbal* erklären, so ist das Wort doch genügend belegt. So finden wir *nall-šuide* LU 120a 43, mit *ūasal(-šuide)* glossiert. Auch als Interjektion kommt *nall* vor, z. B. *nall amāi!* O'Mulc. 838; *nall (noll) a maic!* Fianaig. 26, 13.

»aman, 7254.« Es ist *amān* zu lesen, mit der Betonung der zweiten Silbe, da es auf *dāl* reimt. Es ist also eine Nebenform von *amāin* 'nur'.

»ard-ruiri, 829.« Lies *Ar ruiri* (:*doruirmi*).

»arrodis (?), 4470.« Lies *ar rodīs brāthar*, wörtlich 'gegen die große Zweiheit von Brüdern', d. h. 'gegen die beiden großen Brüder' (Moses und Aaron). So schon Stokes selbst im Index, S. 148 (*ro-días*).

»ath-chom-arc.« So will Stokes auch in Z. 464 statt des handschriftlichen *atchonnarc* lesen, aber mit Unrecht, da es den Reim mit *clothalt* aufheben würde. Vielmehr ist *atchonnarc* beizubehalten.

»becht, *opinion, feeling, idea.*« An allen Stellen ist es das bekannte Adjektiv, welches 'genau, deutlich' bedeutet.

boladmar, 'geruchreich'. Dies Adj. findet sich Z. 1086, wo Stokes gegen die Handschrift *bolad náir* druckt. Es ist zu lesen:

aratoimlid fri sīd sain[1]   *toirthi parduis boladmair.*

»cath, *battle.*« Zu den damit zusammengesetzten Wörtern ist noch *cath-gaibim* 'ich bekämpfe' hinzuzufügen, das Z. 2734 vorkommt. Es ist dort zu lesen:

Maithgein Maire[2], *mō cach mīad,*   *cathgeib co ṅgaire gōrīad.*

'Marias edler Sohn, größer als jede Würde, der mit Frommheit falschen Wandel befehdet'.

»cint.« Die Stelle (Z. 133) lautet:

mēt na rē[ē], rūathar cint,   *ō thalmain co firmimint.*

Hier steht *cint'* für *cinte*, eine Elision, die durch den folgenden unbetonten Vokal ermöglicht wird. Vgl. *nī cūac cinte* Z. 33.

»cocaid, *just, lawful*, 3042.« An der betreffenden Stelle handelt es sich um den mittelir. Gen. Sg. von *cocad* 'Krieg' (*cen nach ṅdāil cocaid co brāth*).

»cod, *jug, mug*, 4357.« Lies *cōd*; es reimt auf *lōr*.

con-canaim 'concino' kommt Z. 1019 vor, wo mit der Handschrift *concanat* zu lesen ist. Vgl. Z. 2165.

»cuirid, gen. sg.? 3434.« Es ist *cuiri* im Reim mit *ruiri* zu lesen (*crīchid cach cuiri comlāin*), Gen. von *cuire* 'Truppenschar'.

---

[1] Die Handschrift hat kein Längezeichen.

[2] mairre Hs.

»dilliud, 6933.« Lies *d'[f]illiud.*

»dodig, 1894.« Lies *do dig forsna glasluibib* 'als Trank zu den grünen Kräutern'.

»donech (do-n-ech?), 5564.« Es ist zu lesen wie schon Strachan, Verbal System, S. 16, n. 1 korrigiert hat:

dūs in foigēbtais fo nim   nech dogneth[1] *a n-imditin.*

»duirimthimmchellaim (do-air-imm-do-imm-t.), 346«. Lies: *dūir imthimchellat rīched* 'stark umgeben sie das Himmelreich'.

»duith, *base, infamous?*« Lies *dui* 'ignorant'; Dat. Pl. *dūithib* 3235.

»duithe, acc. sg. -i, 2689.« Die Stelle lautet: *ar cathbarr cen dūithi dath,* wo *dūithi* der von *cen dath* abhängige vorangestellte Gen. Sg. ist. Das Wort reimt auf *brūithi* und bedeutet 'Unwissenheit, Torheit'.

In Z. 1075 ist statt *būaid nein* zu lesen *būaid n-ēim.* Vgl. *mod n-ēim* 5263.

»eisleis, eisslis«, lies *ēislis* und füge zu den Zitaten hinzu Z. 2562, 2946.

Ein Adj. *fālaide* 'zaunartig' kommt Z. 8043 im Reim mit *lānaide* vor (*fleochud fola fālaide* 'ein Regen von Blut so dicht wie ein Zaun').

»fael, 4816, *wolf?*« Das Fragezeichen ist zu tilgen. *fāil* kommt auch Z. 1292 und 1670 vor, wo es vom Teufel gebraucht wird.

»fēdim, 1507.« Es ist wohl zu lesen: *nā fāebur feidm, mētib gal,* wo *feidm* auf *teidm* reimt. Zu *mētib gal* vgl. *lānaib gal* 1543.

»In 4315 fathaib seems a license for fothaib.« Es ist aber *fāthaib* im Reim mit *scāthaib* zu lesen.

»fichomna f. *figtree,* 1362.« Die Hs. hat *ficomna,* was richtig ist. LB 111a 56 liest *ficcommna.*

»fissiu = Lat. visio, 3356.« Es heißt dort: *ind fis siu* 'diese Vision'.

»foadoi (?), 643.« Lies *foa dōi* (: *cota-ōi*) 'unter seiner Hand'.

»for-clu, 1421.« Es ist zu lesen:

Gāid Ādam dōib: 'Ar for clū   anaid frim, a nōebaingliu!'

'Adam flehte sie an: Bei eurem Ruhme! bleibt bei mir, ihr heiligen Engel!'

»for-erainn, 2351.« Die Zeile, um die es sich handelt, sowie die folgende sind in der Handschrift arg verschrieben und wie folgt zu bessern:

for Ērinn cen lethrainn lainn   do Māel Ṡechnaill mac Domnaill.

Thurneysen hat Rev. Celt. VI nach den Angaben Z. 2337 ff. über die Ereignisse zur Zeit der Abfassung des Gedichtes das Jahr seiner

[1] donech Hs.

Entstehung (988) bestimmt. Dabei blieb es merkwürdig, daß zwar ein König von Schottland, aber kein Oberkönig von Irland erwähnt wird. Der Schreiber hat sich eine Dittographie zuschulden kommen lassen und statt der Wiederholung von Cinăed mac Măil Choluim ist der Name des bekannten Oberkönigs von Irland, der von 980 bis 1002 regierte, einzusetzen. Auch das nur des Reimes wegen gewählte Wort *lethrainn* weist auf *Sechnaill* hin. Die Verschreibung *herainn* für *Ērinn* ist dadurch entstanden, daß Auge oder Ohr des Schreibers schon auf das folgende *lethrainn* abirrte. Solche Abirrungen sind bei unserm Schreiber nichts seltenes. So ist Z. 2353 *Briain* statt *Brīan* durch das folgende *Mumain* oder Z. 3788 *rosnordoib* statt *rosnordaig* durch das folgende *feib* veranlaßt. Ein ähnliches Versehen von größerer Wichtigkeit liegt auch in *fochet* Z. 2311 vor. Hier lasen Thurneysen (Rev. Celt. VI 106) und Zimmer (Nenn. Vind. 185) *fo chēt* und faßten *ocht fo chēt* als 'acht unter hundert' = 92. *fo chēt* könnte aber doch nur 'hundertmal' bedeuten. Es ist vielmehr *fichet* zu lesen[1]. Der Schreiber hatte schon das folgende *foli* im Auge. So erhalten wir statt 3792 die Zahl 3728.

»forraib, pl. dat., 3919.« Fälschlich aus *dia forraib* 'wenn übrig bleibt' erschlossen. So schon Strachan, a. a. O., S. 47.

»gais galais, 6462.« Es heißt dort *iarna ūgalais* 'nach ihrem Kampf'.

Unter *gart* handelt es sich für Z. 3078 um das Kompositum *gart-glan-geltaid*, denn so ist im Reime mit *macthargertaid* zu lesen. Zu übersetzen wäre etwa 'der Freigebigkeit schön verheißt'.

»glé.« Zu den Kompositis ist *glē-amra* hinzuzufügen, wie Z. 70 zu lesen ist.

»glē-rath 618.« Es ist zu lesen:

Forsa said ind ēnlaith ān congaib glēraith chēol comlān

'worauf die herrliche Vogelschar sitzt, welche ein vollkommenes Lied glänzender Gnade singt'. *glēraith* reimt auf *ēnlaith* und ist der nach Dichterart vorangestellte Genitiv.

»grèim, 3361; pl. n. grémmann, 3357.« Lies *greimm* und *gremmann*. Ersteres kommt auch Z. 6286 (*garb-greim*) und 6293, der Gen. *gremma* Z. 6289 (*gabāil gremma*) vor.

»inceil, acc., 7443.« Es handelt sich um *ninceil* 'es ist uns nicht verborgen'.

---

[1] Bei der Lektüre des *Salt. na Rann* in meinen irischen Übungen im letzten Sommersemester kam zu meiner Freude Hr. R. Mackenzie aus Edinburg unabhängig von mir auf denselben Gedanken.

»irc, 1691.« Die Handschrift hat *hairc.* Stokes glaubte ein punctum delens unter dem a zu sehen; ich kann keins erkennen.

»irdiuid, 3984, for fír-diuid?« Lies *fo hirdiuid* 'hinterdrein'.

»largud, 880«, lies *lārgud* statt *lārugud* 'zu Boden werfen', nicht, wie Strachan (Verb. Syst. 70) wollte, zu *lorgim* zu stellen.

»lórdae, 225.« Lies *lūarda* (: *ūara*).

»mairre, 2733, leg. máir-ré.« Lies *Maire* 'Maria'.

»menmaigim, 4149, 8216, leg. menmnaigim?« Es steht für *menbaigim* 'ich zerstückele'.

»methlad, 1143, read meth lat?« Es ist das Verbalnomen von *methlaim.*

»milide, 480.« Es bedeutet 'honigsüß'.

»ochrach (leg. ocrach) *ravenous,* 898.« Da das Wort auf *brothlach* reimt, ist die handschriftliche Lesart beizubehalten und '(scharf) kantig' zu übersetzen.

»rub = Lat. rubus, 3815.« Lies *rūb,* da das Wort auf *rūn* reimt.

»saccrad, f. *sacks,* 3036.« In der Handschrift lautet die Stelle: *siriud slān na saccraige.* Wir haben es mit dem Gen. Sg. von *saccrach* 'Säcke' zu tun.

»sain-dil.« So ist auch Z. 1922 statt *saindleith* zu lesen.

»samsúgud, 6095.« Es ist *sāmugud* im Reim auf *sārugud* zu lesen. So schon Strachan, Verb. Syst. 41.

»sechnad, 674.« Der Nom. Pl. kommt Z. 2307 vor: *nī sechnada for chēill cain* 'es sind keine Abweichungen von gutem Sinne'. Statt *for* ist hier *ar* einzusetzen, was sich noch in der Lenition des folgenden Anlauts verrät. Strachan, S. 38, wollte *sechnada* irrtümlich als Part. Pass. fassen.

»sithech, 342.« Lies *sīthech* 'friedlich' (: *rīched.*)

»sobáil, 2638.« Lies *sobail* 'glückselig' (: *domuin*).

»sonardib, 2778«, *co son-ardib* 'mit Lautzeichen'.

»sretta, gen. sg., 2475.« Es ist der Gen. von *srethad,* q. v.

»srothaib īath, 2753.« Lies *srethaib* und vgl. Z. 2285, 4941.

Unter »tachaim« ist *cid ta(ch)thi Dia* 5530, wie auch Strachan (Verb. Syst. 74) lesen wollte, zu tilgen. Lies *Cid tāthi Dia?* 'was habt ihr gegen Gott?'

»tadail, 6326.« Lies *tadāil,* das in quantitativem Gleichklang mit *Nabāl* steht.

»tan, adj., 803, 2187, 6853, 7401.« In allen Fällen handelt es sich um *tan* 'Zeit' in der Bedeutung 'zur Zeit, da, damals'.

»tath-lassair, *dry flame?* 3792«, lies *tāth-lassair* 'dissolving flame'. Es reimt auf *ārlassair.*

»tlaith-chumtaig, 1103.« Die Stelle lautet: *nī tli tlāith cumtaig ar cest*, wo *tlāith* auf (*ro*)*rāid* reimt und *cumtaig* mit *cest* alliteriert. Es ist zu übersetzen: 'Nicht als schwachen Trost hat er unser Anliegen auferbaut' (*cumtaig* = *com-ud-taig*).

»tochomracht, *taedium*, 6922.« So ist auch 1354 und 4570 statt *tochomrac* zu lesen.

»toirt, sg. dat., 5971.« Hier steht das Kompositum *dūn-toirt* 'schützende Masse' im Reime auf *līnbroit*.

»úagdae, 3634.« So ist auch Z. 2324 statt *ūaga* zu lesen.

»úamnach, *terrible*, 875.« Z. 3869, 4839, 5619 bedeutet es 'furchtsam'.

130. Berichtigungen und Nachträge.

§ 1. Ich zähle noch folgende Dvandvakomposita auf: *cenn-anim* 'Kopf und Seele' (*bid sūi lēigind co cennanim*, Arch. III 231); *cenn-chossach* 'Kopf- und Fußstücke' Ériu IV 124 § 2; *dall-bodar* 'blind und taub', *Duma Dallbodra*, n. l., M. Dinds. I 18; *fot-lethet* 'Länge und Breite', SR 32; *loc-aimser* 'Ort und Zeit' (*comad hē so a logaimser*, YBL 219b 36).

§ 7. Ein kymr. *-nod* liegt auch in *carthnod* 'Gefangenschaft' vor, worauf mich E. Ernault aufmerksam macht.

§ 11. *dermar* im Reime mit *Fergal* kommt auch Rev. Celt. XXIV 54 vor.

§ 18. Zu *Fāilbe* vgl. *mac Failbi*, LL 317b 57.

§ 20. Wie Herr Marstrander erkannt hat, ist *-arc* in *menmarc* das Verbalnomen von *arcu* 'ich bitte, begehre'. Die Form *menmserc* ist also eine etymologisierende Schreibung.

§ 24. Der Hinweis auf ir. *Gelbe* unter *Gelb-idius* ist zu streichen, da es als *Gel-bē* n. 'Weiße Frau' zu fassen ist.

S. 1146, Z. 1 lies *faithircleóg* statt *faithirleóg*.

§ 29. Zu den Verbalnomen auf *-emain* kommt noch *lingeamhain* zu *lingim*, O'Cl. s. v. *iodhlann*.

§ 33. Zu der Beeinflussung des ir. *-īn* durch lat. *-īnus* vgl. Thurneysen, Handb. § 272. Zu den Namen auf *-ōc* ist *Muireōc* Cog. 16, 12 nachzutragen, wo *Inis Muireōc* für das gewöhnliche *Inis Muiredaig* (Inishmurray) steht. Ein Name mit dem alten Suffix *-ōn* liegt noch in der Inschrift Oroit do Cholumbon, Petrie, Christian Inscriptions I pl. 1 vor. Auf *-e* sind noch *Mochue*, Mon. Tall. § 4 und *Nāre* f. LL 349c marg. inf. gebildet; auf *-ucān* noch *Aeducān*, Rawl. 502, 127a 1; *Māelucān*, ib. 49. Herr Paul Walsh macht mich darauf aufmerksam, daß *Conān* eine Kurzform von *Colmān* ist, wie aus *Tech Conāin* = *Tech Colmāin* in 'Betha Colmāin' hervorgeht.

S. 1150, Anm. 2 lies *uiuum* statt *uinum*.

§ 36. Zu *giall-cherd* vgl. *i ngill 7 hi ngiallacht* (*i ngiallcherdda* L), Otia Merseiana II 86 § 4.

§ 40. Der Name Artur kommt in Irland schon zu Anfang des 7. Jahrhunderts vor, also nur wenig später als in Nordbritannien. Einer der Bürgen der Cāin Adamnāin (A. D. 697) heißt *Feradach hōa Artur* (s. meine Ausgabe § 28).

§ 42. Vgl. Thes. II 320: *Haec insula quinque vocabula tenet .i. Ēriu 7 Banba 7 Fōtla 7 Fāil 7 Elca.*

S. 447, Anm. 3 lies 'in Blair Athole' statt 'bei Fort William.' Auch Loch Banavie in Sutherlandshire ist noch anzuführen.

§ 44. Auch ein *Cathāir m. Lugdach m. Sētna m. Amalgaid m. Fiachrach m. Echach Mugmedōin* kommt LB 14b vor.

§ 46. Über *esclae* s. Pokorny, CZ X 199.

§ 50 In CZ VI 287, 13 findet sich der Gen. Sg. *in halla.*

§ 64. Das Wort *longphort* liegt wohl auch in dem anglisierten Ortsnamen *Langport* in Somerset vor. Ferner gehört das schottische *Lumphortyn* hierher, dessen *-yn* wol plurale Bildung (*-an*) ist.

§ 66. Hier sind die schottischen Ortsnamen *Beannachar* bei Kingussie und *Banchory* (gäl. *Beannachar*) hinzuzufügen, auf die Hr. B. Johnston mich hinweist.

§ 67. Auch in *īar nAlbe* (sic leg.), LU 129a 39 und *di Albae,* Imr. Br. 48, 6 haben wir wohl, worauf Hr. Bergin mich aufmerksam macht, mit einem Femininstamm zu tun. Diese Formen könnten auch von einem Nom. *Albu* kommen, ebenso wie der Dat. *Ēre* von *Ēriu* usw.

§ 68. Ein weiteres Beispiel für das im östlichen Munster eingetretene palatale *ng* statt *nn* findet sich in Ériu V 246, 230 (*grafuing*). Die umgekehrte Erscheinung liegt in *Teach Molind* Cog. 6, 11 und *cinnim* statt *cingim* vor, z. B.

acht nā cind[id] cēim dar cert (sic leg.),

ib. 56, 11. Ferner in *Argain Tuir Chonaind* LL 190a 21 = *Orguin Tuir Conaing,* Anecd. II 47, 3.

§ 88. Ein drittes Beispiel für *diam* findet sich in O'Dav. 488: *diam fri tinfoba fo thuathaib comairser*; ein viertes in Laws IV 338, 22: *ar nī racu tūath dāmrad rig 7 espuic diam di gress fosngelat.*

§ 90. Svarabhakti liegt auch in *maidim,* Cog. 82, 19 = *maidm, Allamaran,* ib. 72, 18 vor, wo B *Allmoran* liest. *Baraca* statt *bārca* ist wohl nur verschrieben (Bergin).

§ 95. Zu *ind-ad-saig-* stellt sich das gewöhnliche Verbalnomen *indsaigid.*

§ 96. Wie mir Hr. Meyer-Lübke freundlichst mitteilt, ist *Magodūnum* auf gallischem Boden mindestens dreimal gesichert durch *Mehun, Meung* und *Médan.* Siehe seine 'Betonung im Gallischen', S. 32.

§ 98. Es ist Thurneysen gelungen, diese altirische Glosse ganz dem Verständnis zu erschließen. Er liest folgendermaßen: *Appellativa* [.*i*.] *doindarbethacha no commades agaldemathacha*. Hier übersetzt *doindarbethacha* das Lemma etymologisch (*ad-pello* = *do-ind-ar-ben-*) und *commodes* steht für *co mbatis*. Die phonetische Schreibung (*d* statt *t*, *g* statt *c*) in *commades* und *agaldemathacha* ist bemerkenswert.

§ 100. *achmusān* hat in dem heutigen *asuchān* der Blaskets eine noch weitere Metathese durchgemacht, worauf mich Hr. Robin Flower hinweist. *dethba* statt *debtha* kommt auch in Ēriu V 72, 23 vor. Weitere Beispiele von Metathese sind *blūire* 'Bruchstück' (Munster) statt *brūille*, O'Don., oder mit prothetischem *s*, *sprūille*, Gael. Journ. X 473b; *luchrapān* LL 142a 18 statt *luchorpān*, jetzt *leaprachān*. Zu *sicir* ist Cog. 78, 20 hinzuzufügen, wo die Handschrift B *siric* liest.

Wörterverzeichnis

Irisch

Kymrisch

Gallisch und Altbritisch

Altnordisch

Englisch

Adresse an Hrn. HERMANN AMANDUS SCHWARZ zum fünfzigjährigen Doktorjubiläum am 6. August 1914.

Hochverehrter Herr Jubilar!

Zu Ihrem Ehrentage, dem fünfzigjährigen Doktorjubiläum, bringt Ihnen die Königliche Akademie der Wissenschaften ihre Glückwünsche dar, in warmer Würdigung das überblickend, was Sie Jahrzehnte hindurch der Wissenschaft leisteten in dem Gebiet, das Sie erobern halfen und in dem Sie geschaltet und gewaltet haben. Sie gehören unserm Kreise schon lange an; ein erstes Band, das Sie mit der Akademie verknüpfte, war der Preis, der Ihnen, dem noch jungen Forscher, vier Jahre nach der Promotion verliehen wurde. Das war eine verdiente Auszeichnung, der Lohn für eine sehr eingehende und genaue Arbeit über eine Art von Flächen, von denen man vorher wenig deutliche geometrische Vorstellungen hatte, die aber das stärkste Interesse verdienen. Bald zeigte sich, daß Sie noch besseres zu leisten imstande waren. Geometrische Ideen, plastisch und deutlich, wenn auch weitabliegend von dem, was man analytische oder synthetische Geometrie nennt, hatten Sie ganz in Anspruch genommen. Die Gestalt der verschiedenartigsten Minimalflächen, die Abbildungen von Würfeln und Polyedern auf Kugeln, von Ellipsen und Polygonen auf Kreise, das bildete Ihre Geometrie. Diese geometrischen Fragen hingen mit der Analysis zusammen, speziell mit demjenigen Teile der Analysis, den GREEN in seinem bedeutenden Essay ins Leben zu rufen und auf die Physik anzuwenden gewagt hatte. Die Funktionen GREENS beruhten, streng mathematisch betrachtet, auf hypothetischer Grundlage; GREEN selbst sagt: »Wir kennen für sie nicht einmal irgendeine geeignete Annäherungsmethode.« Das Problem, das GREEN für den Raum stellt, existiert auch für die Ebene und ist dort sogar noch wichtiger, wegen des Zusammenhangs mit den komplexen Größen. Annäherungsmethoden, im ebenen Gebiet, die sich als sehr geeignet erwiesen haben, sind von Ihnen entworfen worden, gleichzeitig mit andern, die dasselbe Ziel erstrebten; Ihre eigenen Arbeiten darüber sind ebenso origi-

naler Natur wie die der andern. Sie, Neumann und Weber haben hier die Bahn gebrochen, Poincaré und Hilbert sind nachgefolgt; wessen Methode die geeignetste war, darüber wollen wir kein Urteil fällen. Jedenfalls steht jetzt unumstößlich fest, was vorher Riemann behauptete, daß man jedes von einer einzigen Linie begrenzte Gebiet konform auf eine Kreisfläche abbilden kann. Damit sind zugleich der Idee nach Funktionen einer Veränderlichen gegeben, von denen die Analysis im allgemeinen nichts weiß. Aber Sie haben völlig selbständig und unabhängig namentlich von der Theorie der linearen Differentialgleichungen den Spezialfall erkannt, wo die Abbildungsfunktion einer Differentialgleichung genügt und dadurch zur übrigen Analysis in Beziehung tritt; es ist der, wo die Grenze des Gebiets irgendein aus Kreisbogen zusammengesetztes Polygon ist. Indem Sie noch weiter vom Allgemeinen zum Speziellen vordrangen, kamen Sie zur Figur des Schwarzschen Dreiecks, das durch drei Kreisbogen gebildet wird. Hier traten Sie neben Gausz, der durch eine Figur, bestehend aus zwei Parallelen und einem Berührungskreis, und durch einige hinzugefügte Formeln zum Urheber der Theorie der elliptischen Modulfunktion geworden ist. Beziehungen, die Kummer in einer formelreichen Abhandlung über die hypergeometrische Reihe aufgestellt hat, gewannen durch Ihre Arbeit ihre eigentliche Bedeutung. Aber was wichtiger ist, Sie erkannten, daß, wenn die Winkel genaue Teile von zwei Rechten sind, die Abbildungsfunktion des Kreisdreiecks eine eindeutige ist, soweit sie überhaupt in der Ebene existiert. Damit fing eine Kette von Entdeckungen an, die deutsche und französische Mathematiker beschäftigen sollten, und die den mathematischen Ruhm der zweiten Hälfte des neunzehnten Jahrhunderts festigt.

Unter Ihren späteren Arbeiten ragt eine hervor, Weierstrasz zu seinem siebzigsten Geburtstag gewidmet, in der Sie die Frage behandeln, wieweit eine Minimalfläche im Sinne der Variationsrechnung ihren Namen verdient. Diese Abhandlung zeichnet sich aus durch die Strenge der Beweisführung, aber auch dadurch, daß Sie in ihr eine neue Annäherungsmethode aufstellen, die allseitig anerkannt wurde und viel Anklang fand. Sie gab den Mathematikern die Möglichkeit, in allgemeinere Probleme einzudringen. Allerdings können spezielle Probleme ebenso interessant sein als allgemeine.

Ein solcher Überblick zeigt, daß wir reichen Anlaß haben, Ihnen unsre freudige Anerkennung auszudrücken. Wir verbinden damit die besten Wünsche für Ihr ferneres Wohlergehen.

Die Königlich Preußische Akademie der Wissenschaften.

Adresse an Hrn. JOHANNES STRÜVER zum fünfzigjährigen Doktorjubiläum am 19. August 1914.

Hochgeehrter Herr Kollege!

An dem Gedenktage, den Sie heute feiern, bringt Ihnen die Königlich Preußische Akademie der Wissenschaften herzliche Glückwünsche dar.

Nach vielseitigen Studien in Braunschweig und namentlich in Göttingen, wo FRIEDRICH WÖHLER und WILHELM WEBER, WOLFGANG SARTORIUS VON WALTERSHAUSEN und KARL VON SEEBACH entscheidenden Einfluß auf Ihre Arbeitsrichtung ausübten, beschäftigten Sie sich zunächst mit paläontologischen Arbeiten. Hierher gehört auch Ihre Doktordissertation über die fossilen Fische aus dem oberen Keupersandstein von Koburg. Seitdem haben Sie sich ausschließlich und mit glänzendem Erfolge der Mineralogie gewidmet.

Durch die Beziehungen, die SARTORIUS zu QUINTINO SELLA besaß, kamen Sie noch im Jahre 1864 als Assistent von BARTOLOMEO GASTALDI an die Königliche Ingenieurschule zu Turin. In Ihrer neuen Heimat gelangten Sie sogleich in den Kreis der tiefgreifenden wissenschaftlichen Anregungen, die von SELLA auf den Gebieten der Kristallographie und Mineralogie fortdauernd ausströmten, auch nachdem der gelehrte und scharfsinnige Forscher sich den staatsmännischen Aufgaben zugewendet hatte, die ihm die politische Entwicklung seines Vaterlandes stellte. Unter den günstigen äußeren Arbeitsbedingungen, die Ihnen durch eine der besten Mineraliensammlungen des Kontinents und durch die Nähe der alpinen Minerallagerstätten Piemonts dargeboten wurden, begannen Sie die große Reihe grundlegender Untersuchungen, mit der Sie die Kenntnis der Mineralien Italiens bereichert haben. Als die erste Ihrer großen Monographien, die Abhandlung über den Pyrit von Piemont und von Elba, 1869 von SELLA in einem ausführlichen Berichte an die Königliche Akademie der Wissenschaften in Turin angekündigt wurde, sahen Ihre Fachgenossen mit lebhaftem Interesse den vollständigen Darlegungen Ihrer Ergebnisse entgegen. Die hochgespannten Erwartungen wurden indessen noch übertroffen durch den Eindruck Ihres Werkes, das Ihnen sofort eine hervorragende

Stellung unter den Mineralogen erwarb. Die Erforschung der Beziehungen zwischen den freien Oberflächenformen und den paragenetischen Verhältnissen eines Minerals ist einer der Wege zum tieferen Verständnis der Bedingungen der Mineralbildung. Dauernden Erfolg verbürgt eine solche Untersuchung aber nur in den seltenen Fällen, wo vorzüglich ausgebildetes Material in so reicher Fülle vorliegt, wie in den Ihnen zur Bearbeitung anvertrauten Sammlungen. Obwohl Sie sich in Ihrer umfangreichen Arbeit der Natur der Sache nach vorwiegend mit kristallographischen Einzelheiten beschäftigen mußten, behielten Sie hier wie in allen späteren Arbeiten die allgemeinen genetischen Probleme der Mineralogie in vorbildlicher Weise im Auge. Hierauf beruht die belebende Wirkung, die Ihre Arbeitsmethode seit jener Zeit auf die fortschreitende Entwicklung der Mineralogie in Italien ausgeübt hat.

Als Mitarbeiter an der geologischen Karte Piemonts erforschten Sie das schwer zugängliche Gebiet des Alatals, das zwar seit langer Zeit als ergiebiger Fundort herrlicher Mineralien bekannt war, aber noch niemals den Gegenstand eingehender Untersuchungen gebildet hatte. Durch Ihre meisterhafte Arbeit wurde zweifellos festgestellt, daß die Änderungen im Habitus der Mineralien mit einer Verschiedenheit der paragenetischen Verhältnisse verbunden sind. Dieser Nachweis enthielt zugleich die Aufforderung, experimentell durch Kristallisationsversuche die Bedingungen für die Entstehung verschiedener Oberflächenformen desselben Stoffes zu ermitteln. Hierzu geeignete Verbindungen boten Ihnen die von St. Cannizzaro dargestellten Santoninderivate. Sie fanden, daß es nicht möglich ist, den Habitus der Kristalle zu ändern, wenn Lösungsmittel und Temperatur konstant bleiben. Dagegen erhielten Sie Kristalle von sehr verschiedenem Habitus, wenn zur Herstellung des Stoffes verschiedene Methoden benutzt wurden. Durch diese mit der größten Sorgfalt ausgeführten Versuche und Messungen waren Sie imstande, Ihre Auffassung von der Bedeutung der paragenetischen Verhältnisse für die polyedrischen Gestalten der Mineralien auf eine zuverlässige Grundlage zu stellen.

Im Jahre 1873 siedelten Sie als ordentlicher Professor der Mineralogie und Direktor des Mineralogischen Museums der Universität nach Rom über. Anfänglich konnten Sie hier nicht über so reiche Hilfsmittel wie in Turin verfügen. Aber es gelang Ihnen bald, die ausgezeichneten Privatsammlungen von Spada und Riccioli für den Staat zu erwerben. Dazu traten die nicht minder wertvollen Erträge Ihrer eigenen Aufsammlungen. Denn Sie schritten nun mit ebenso großem Eifer als Geschick und Erfolg zur Erforschung des Vulkan-

gebietes der Umgegend von Rom, über das kurz zuvor Gerhard vom Rath interessevolle Mitteilungen veröffentlicht hatte. Ihren tiefer eindringenden Untersuchungen entging nicht, daß erst nach zahlreichen und langwierigen Detailstudien eine wahrscheinliche Geschichte der eruptiven Tätigkeit in diesem Gebiete geschrieben werden könne.

Wer sich mit den mannigfachen vulkanischen Produkten Italiens beschäftigt, wird mit Vorliebe verweilen bei jenen eigenartigen Mineralaggregaten, die in lockeren Tuff- und Lapillischichten, zuweilen auch in kompakten Lavaströmen des Vesuvs und der römischen Vulkane eingeschlossen sind. Trotz zahlreicher Beobachtungen über ihre Zusammensetzung und Struktur blieb der Ursprung dieser Auswürflinge in Dunkel gehüllt. Durch überraschende Funde und genaue vergleichende Analysen waren Sie imstande, die Umwandlungsvorgänge aufzuhellen, denen ein großer Teil dieser Gebilde seine Entstehung verdankt.

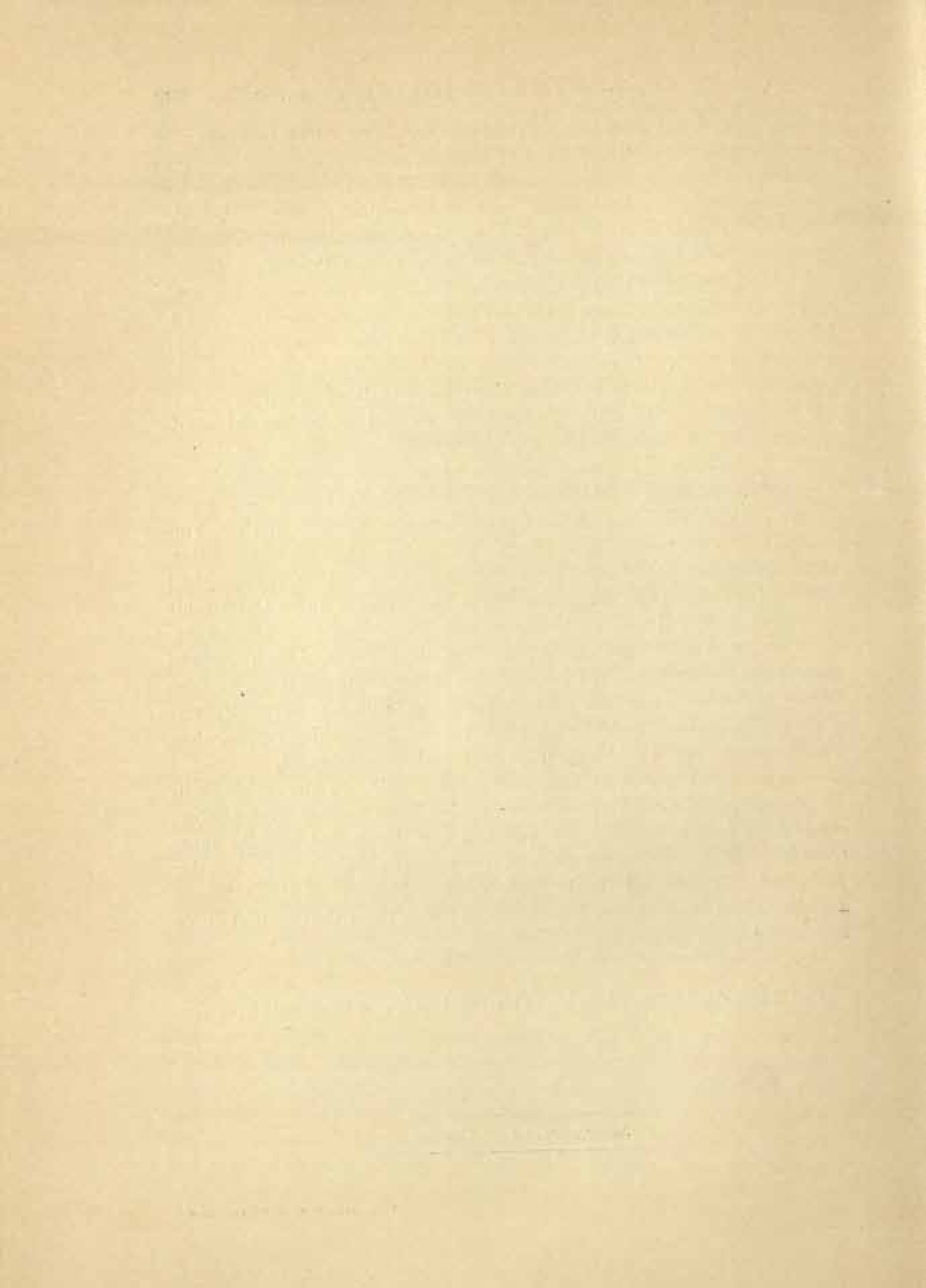
In vierzigjähriger akademischer Lehrtätigkeit haben Sie, hochgeehrter Herr Kollege, an dem Aufschwunge mineralogischer Forschungen in Italien einen hervorragenden Anteil genommen. Sie haben nicht aufgehört, die Begeisterung, von der Sie für Ihre Wissenschaft erfüllt sind, durch die Eindringlichkeit und Wärme Ihres Unterrichts auf einen großen Kreis von Schülern und Mitarbeitern zu übertragen. Es war Ihnen aber auch vergönnt, im öffentlichen Leben Italiens segensreich zu wirken, als Sie in den Jahren 1881—1884 berufen waren, in der Stellung eines Kabinettschefs des Kultusministers Baccelli einen maßgebenden Einfluß auszuüben auf die Reform der italienischen Universitäten und die Gestaltung des Universitätsgesetzes.

Möge es Ihnen noch lange beschieden sein, in der Rüstigkeit, die Sie auszeichnet, sich zu erfreuen an der Blüte der mineralogischen Studien in Italien, zu deren Förderung Sie durch das Vorbild Ihrer wissenschaftlichen Arbeiten so viel beigetragen haben, und an der wachsenden Macht und Größe Ihrer zweiten Heimat, in deren Dienst Sie ein halbes Jahrhundert hindurch die Güter Ihres Geistes und Ihres Herzens gestellt haben.

Die Königlich Preußische Akademie der Wissenschaften.

Ausgegeben am 29. October.

Berlin, gedruckt in der Reichsdruckerei.



1914.
XXXVI.

SITZUNGSBERICHTE
DER
KÖNIGLICH PREUSSISCHEN
AKADEMIE DER WISSENSCHAFTEN.

29. October. Sitzung der physikalisch-mathematischen Classe.

Vorsitzender Secretar: Hr. Planck.

1. Hr. Schottky legte vor eine Mitteilung: Zwei Kurven und zwei Flächen.

Es wird in kurzen Zügen der Zusammenhang zwischen den Definitionen der Aronholdschen, der Bertinischen Kurve, der Weddleschen Fläche und einer ihr verwandten Fläche dargestellt.

2. Hr. Einstein überreichte eine Abhandlung: Die formalen Grundlagen der allgemeinen Relativitätstheorie. (Ersch. später.)

Zunächst wird der Grundgedanke einer allgemeinen Relativitätstheorie kurz dargelegt und die Grundlage des absoluten Differentialkalkuls nach einer einfachen Methode entwickelt. Hierauf werden die Feldgleichungen der Gravitation nach einer rein kovariantentheoretischen Methode abgeleitet und dabei gezeigt, daß die Theorie eine bestimmte Beschränkung in der Wahl der Raum-Zeit-Variabeln (Koordinaten) liefert. Zuletzt wird gezeigt, daß Newtons Theorie als erste Näherung in der abgeleiteten Näherung enthalten ist.

Zwei Kurven und zwei Flächen.

Von F. Schottky.

Es handelt sich um vier Aufgaben, von denen zwei der analytischen Geometrie der Ebene, zwei der Geometrie des Raumes angehören. Wir wenden homogene, Dreiecks- oder Tetraederkoordinaten an; sie seien: x, y, z für die Ebene, x, y, z, u für den Raum.

I. Sind sieben feste Punkte willkürlich in der Ebene gegeben, so kann man die homogenen Funktionen dritten Grades $U(x, y, z)$ betrachten, die in den sieben Punkten verschwinden. Neben sie stellen wir diejenigen Funktionen sechsten Grades $V(x, y, z)$, die in den sieben Punkten von der zweiten Ordnung, endlich auch noch die vom zwölften Grade $W(x, y, z)$, die dort von der vierten Ordnung verschwinden. Es ist festzustellen, welche algebraischen Beziehungen zwischen diesen U, V und W bestehen.

Die Anzahl der linear unabhängigen U ist offenbar drei; wir wählen drei aus, die wir mit X, Y, Z bezeichnen, so daß das allgemeine U linear und homogen durch X, Y, Z ausgedrückt werden kann. Die Anzahl der linear unabhängigen V ist

$$\frac{7\cdot 8}{1\cdot 2} - 7\cdot 3 = 7,$$

die der W:

$$\frac{13\cdot 14}{1\cdot 2} - 7\cdot\frac{4\cdot 5}{1\cdot 2} = 21.$$

Jede quadratische Funktion von X, Y, Z stellt ein V dar. Aber diese Form enthält nur sechs Koeffizienten. Folglich ist es möglich, eine spezielle V-Funktion $\overline{V}$ aufzustellen, die sich nicht als ganze Funktion von X, Y, Z ausdrücken läßt. Diese ist notwendig mit X, Y, Z durch eine quadratische Gleichung verbunden. Denn bildet man den Ausdruck

$$\alpha_2\overline{V} + \alpha_4,$$

in dem α_2 und α_4 ganze Funktionen von X, Y, Z sind, vom zweiten und vierten Grade, so ist dieser eine W-Funktion, und da er 21 Ko-

effizienten enthält, so stellt er jedes beliebige W dar, und dazu gehört auch das Quadrat von V. Es läßt sich demnach die Gleichung aufstellen

$$V^2 = \alpha_2 V + \alpha_4,$$

oder, indem man $V - \frac{1}{2}\alpha_2 = L$ setzt:

$$L^2 = M(X, Y, Z).$$

Hierbei ist $M(X, Y, Z)$ eine homogene ganze Funktion vierten Grades von X, Y, Z, und zwar die allgemeine; zwischen ihren Koeffizienten besteht gar keine Beziehung. L dagegen ist eine spezielle V-Funktion, deren Quadrat rational in X, Y, Z ist; sie ist, wie man leicht sieht, mit der Funktionaldeterminante von X, Y, Z nach x, y, z identisch. Jedes beliebige V läßt sich nun algebraisch durch die U ausdrücken in der Form

$$V = \alpha_0 \sqrt{M} + \alpha_2,$$

wobei α_0 eine Konstante, α_2 eine quadratische Funktion von X, Y, Z ist. Die drei U aber sind unabhängige Größen.

Nicht nur die Quotienten der V, sondern überhaupt alle rationalen Funktionen der Verhältnisse von x, y, z und diese Verhältnisse selbst sind rational in X, Y, Z und $\sqrt{M}$. Denn die Kurven $X - \lambda Z = 0$, $Y - \mu Z = 0$ haben im allgemeinen, außer den sieben festen, zwei Schnittpunkte; der Punkt x, y, z wird demnach durch den Punkt X, Y, Z vermöge einer quadratischen Gleichung bestimmt. Die beiden Punkte x, y, z und $x', y' z'$, die zu denselben Werten der Quotienten

$$\frac{X}{Z} = \lambda, \ \frac{Y}{Z} = \mu,$$

aber zu entgegengesetzten von

$$\frac{\sqrt{M}}{Z^2} = \nu$$

gehören, heißen konjugierte. Sie fallen zusammen, wenn M und damit auch L gleich 0 ist. Die Punkte der Kurve vierter Ordnung $M = 0$ und die der Kurve sechster Ordnung $L = 0$ — der ARONHOLDschen — entsprechen sich also gegenseitig eindeutig.

Wir können ferner den Satz aufstellen:

Ist $M(X, Y, Z)$ irgend eine ganze homogene Funktion vierten Grades der unabhängigen Größen X, Y, Z, so läßt sich die Gleichung

$$L^2 = M(X, Y, Z)$$

rational auflösen, und zwar dadurch, daß man für X, Y, Z ganze

Funktionen dritten Grades von x, y, z setzt, mit sieben gemeinsamen Nullpunkten, und für L ihre Funktionaldeterminante.

II. Wir nehmen sechs Punkte im Raume an. Hier seien U die quadratischen Funktionen von x, y, z, u, die in den sechs Punkten verschwinden, V die vom vierten Grade, die dort von der zweiten Ordnung, und W die vom achten Grade, die von der vierten Ordnung verschwinden. Die Zahl der linear unabhängigen U ist 4, die der V:

$$\frac{5 \cdot 6 \cdot 7}{1 \cdot 2 \cdot 3} - 6 \cdot \frac{2 \cdot 3 \cdot 4}{1 \cdot 2 \cdot 3} = 11,$$

die der W:

$$\frac{9 \cdot 10 \cdot 11}{1 \cdot 2 \cdot 3} - 6 \cdot \frac{4 \cdot 5 \cdot 6}{1 \cdot 2 \cdot 3} = 45.$$

Es seien X, Y, Z, U vier linear unabhängige U-Funktionen; zehn V sind gegeben als quadratische Funktionen der vier U; ist $\overline{V}$ eine elfte, die in dieser Form nicht enthalten ist, so stellt $\alpha_2 \overline{V} + \alpha_4$ eine W-Funktion dar, falls α_2 und α_4 ganze homogene Funktionen zweiten und vierten Grades von X, Y, Z, U sind. Und zwar die allgemeine, da der Ausdruck 45 Koeffizienten enthält. Wir können deshalb wieder die Gleichung aufstellen: $(\overline{V})^2 = \alpha_2 \overline{V} + \alpha_4$, die, wenn $\overline{V} - \frac{1}{2}\alpha_2 = L$ gesetzt wird, übergeht in:

$$L^2 = M(X, Y, Z, U),$$

wo M eine ganze Funktion vierten Grades der vier Größen ist. Die allgemeine V-Funktion wird dann dargestellt durch den Ausdruck

$$\alpha_0 \sqrt{M} + \alpha_2,$$

wo α_0 eine Konstante, α_2 eine quadratische Funktion von X, Y, Z, U ist. Aber es sind auch die Quotienten $\frac{x}{u}, \frac{y}{u}, \frac{z}{u}$ rational in

$$\frac{X}{U}, \frac{Y}{U}, \frac{Z}{U}, \frac{\sqrt{M}}{U^2};$$

denn da die drei Flächen $X - \lambda U = 0$, $Y - \mu U = 0$, $Z - \nu U = 0$ nur zwei Schnittpunkte haben, die von den sechs gegebenen verschieden sind, so wird die Bestimmung der Verhältnisse von x, y, z, u durch die von X, Y, Z, U auf die Lösung einer quadratischen Gleichung zurückgeführt.

Ist L, und damit auch M gleich 0, so fallen die konjugierten Punkte zusammen. $L = 0$ ist die Gleichung der Weddleschen Fläche, $M = 0$ die der Kummerschen, und nur dann, wenn $M(X, Y, Z, U) = 0$ eine Kummersche Fläche darstellt, ist die Gleichung $L^2 = M(X, Y, Z, U)$ dadurch auflösbar, daß man X, Y, Z, U gleich quadratischen Funk-

tionen von x, y, z, u mit sechs gemeinsamen Nullpunkten setzt. L ist wieder die Funktionaldeterminante von X, Y, Z, U nach x, y, z, u.

III. Wir denken uns acht Punkte in der Ebene und bezeichnen mit U die Funktionen sechsten Grades, die dort von der zweiten, mit V die vom neunten Grade, die von der dritten, und mit W die vom achtzehnten Grade, die in den acht Punkten von der sechsten Ordnung verschwinden. Die Anzahlen der linear unabhängigen U, V und W sind beziehungsweise

$$\frac{7\cdot 8}{1\cdot 2} - 8\cdot 3 = 4,$$

$$\frac{10\cdot 11}{1\cdot 2} - 8\cdot\frac{3\cdot 4}{1\cdot 2} = 7,$$

$$\frac{19\cdot 20}{1\cdot 2} - 8\cdot\frac{6\cdot 7}{1\cdot 2} = 22.$$

Hier existieren zwei kubische Funktionen A, B, die in den acht gegebenen Punkten verschwinden — und außerdem noch in einem neunten. Bilden wir $X = A^2$, $Y = AB$, $Z = B^2$, so sind das U-Funktionen, die im neunten Punkte verschwinden. Nehmen wir noch eine vierte hinzu — wir wollen sie einfach mit U bezeichnen —, die im neunten Punkte nicht verschwindet, so stellt $\alpha X + \beta Y + \gamma Z + \delta U$ die allgemeine U-Funktion dar. $\alpha_1 U + \alpha_3$ ist der Ausdruck für eine V-Funktion, wenn wir unter α_1 und α_3 homogene Funktionen von A, B verstehen, die eine vom ersten, die andere vom dritten Grade; aber nicht für die allgemeine, denn der Ausdruck enthält nur sechs Koeffizienten und er verschwindet im neunten Punkte. Fügen wir eine V-Funktion hinzu, $\overline{V}$, die in diesem Restpunkt nicht verschwindet, so ist der Ausdruck für das allgemeine V:

$$\alpha_0 \overline{V} + \alpha_1 U + \alpha_3 .$$

Für die W-Funktionen, zu denen auch $(\overline{V})^2$ gehört, können wir den allgemeinen Ausdruck aufstellen:

$$\overline{V}(\alpha_1 U + \alpha_3) + \alpha_0 U^3 + \alpha_2 U^2 + \alpha_4 U + \alpha_6 ,$$

wo die α homogene ganze Funktionen von A, B sind, deren Grad durch den Index angegeben wird. So muß sich also auch das Quadrat von $\overline{V}$ darstellen. Die Gleichung aber wird vereinfacht, indem man $\overline{V} - \frac{1}{2}(\alpha_1 U + \alpha_3) = L$ statt $\overline{V}$ einführt. Sie nimmt dann die Form an:

$$L^2 = \alpha_0 U^3 + \alpha_2 U^2 + \alpha_4 U + \alpha_6 ,$$

und dafür kann man schreiben:

$$L^2 = M(X, Y, Z, U),$$

wo M eine homogene kubische Funktion der durch die Gleichung $Y^2 = ZX$ verbundenen Größen X, Y, Z, U bedeutet. Die letztere stellt einen Kegel dar. Hier läßt sich folgendes aussprechen: Es sei M irgendeine homogene Funktion dritter Ordnung von vier Größen X, Y, Z, U, die durch eine homogene quadratische Gleichung verbunden sind. Wenn diese Gleichung die einer Kegelfläche ist, so ist die Gleichung $L^2 = M$ rational auflösbar, und zwar dadurch, daß man X, Y, Z, U gleich ganzen Funktionen sechsten Grades setzt, die in acht Punkten von der zweiten Ordnung verschwinden. L ist die Funktionaldeterminante, nicht von X, Y, Z, U, sondern von U, A, B nach x, y, z.

Daß sich $\frac{x}{z}, \frac{y}{z}$ rational ausdrücken durch

$$\frac{A}{B} \text{ und } \frac{\sqrt{M}}{B^3},$$

ist ebenso zu erkennen, wie der entsprechende Satz in den vorigen Fällen; auf die genaue Form der Darstellung kommt es hier nicht an. Die Kurve $L = 0$ ist die Bertinische. Ihre Gleichung ist die Bedingung dafür, daß eine nicht zerfallende Kurve sechster Ordnung existiert, die den willkürlichen Punkt x, y, z und außerdem acht feste zu Doppelpunkten hat.

IV. Wir nehmen sieben Punkte im Raume an. Wir bezeichnen mit U die Funktionen vierten Grades von x, y, z, u, die dort von der zweiten, mit V die vom sechsten Grade, die von der dritten und mit W die vom zwölften Grade, die von der sechsten Ordnung verschwinden. Die Anzahlen der linear unabhängigen U, V und W sind entsprechend

$$\frac{5 \cdot 6 \cdot 7}{1 \cdot 2 \cdot 3} - 7 \cdot \frac{2 \cdot 3 \cdot 4}{1 \cdot 2 \cdot 3} = 7,$$

$$\frac{7 \cdot 8 \cdot 9}{1 \cdot 2 \cdot 3} - 7 \cdot \frac{3 \cdot 4 \cdot 5}{1 \cdot 2 \cdot 3} = 14,$$

$$\frac{13 \cdot 14 \cdot 15}{1 \cdot 2 \cdot 3} - 7 \cdot \frac{6 \cdot 7 \cdot 8}{1 \cdot 2 \cdot 3} = 63.$$

Wir bilden drei unabhängige quadratische Funktionen A, B, C, die in den sieben gegebenen Punkten verschwinden und bezeichnen mit U speziell eine U-Funktion, die in dem achten Schnittpunkt der Flächen $A = 0$, $B = 0$, $C = 0$ nicht verschwindet. Dann ist die allgemeine U-Funktion gegeben in der Form:

$$\alpha_0 U + \alpha_2,$$

wo α_0 eine Konstante ist, α_2 eine quadratische Funktion von A, B, C.

Ebenso verstehen wir unter V eine besondere V-Funktion, die in dem achten Punkte nicht verschwindet. Das allgemeine V ist dann gegeben durch den Ausdruck

$$\alpha_0 V + \alpha_1 U + \alpha_3 ,$$

der in der Tat vierzehn Koeffizienten enthält.

Für die allgemeine W-Funktion aber läßt sich der Ausdruck aufstellen:

$$V(\alpha_1 U + \alpha_3) + \alpha_0 U^3 + \alpha_2 U^2 + \alpha_4 U + \alpha_6 .$$

Überall sind die α ganze homogene Funktionen von A, B, C, und ihr Grad gleich dem Index. Da auch V^2 zu den W gehört, so hat man eine quadratische Gleichung für V, die sich, indem man $V - \frac{1}{2}(\alpha_1 U + \alpha_3) = L$ setzt, so darstellt: L^2 ist gleich einer ganzen Funktion dritten Grades von U. Von den Koeffizienten ist der eine konstant, die drei andern sind homogene Funktionen zweiter, vierter und sechster Ordnung von A, B, C. L ist die Funktionaldeterminante von U, A, B, C nach x, y, z, u; $L = 0$ die Bedingung dafür, daß eine nichtzerfallende Fläche vierter Ordnung existiert, welche die sieben Grundpunkte und außerdem den willkürlichen x, y, z, u zu Doppelpunkten hat.

Für die Fläche $L = 0$ dieses vierten Problems, die sich zur Weddleschen verhält, wie die Bertinische zur Aronholdschen Kurve, kann ich keinen Vorgänger angeben.

Mit diesen Problemen hängen noch andre zusammen. Es sei eine homogene quadratische Gleichung $F = 0$ zwischen vier Größen X, Y, Z, U gegeben. Es ist bekannt, daß sich diese rational auflösen läßt, und zwar dadurch, daß man die vier Größen gleich quadratischen Funktionen dreier Größen x, y, z setzt. Aber diese vier Funktionen sind nicht willkürlich; sie müssen zwei gemeinsame Nullpunkte haben. Man sieht leicht: Es lassen sich vier Funktionen zweiten Grades X, Y, Z, U von x, y, z bilden, die in zwei gegebenen Punkten gemeinsam verschwinden, und nur neun linear unabhängige Funktionen vierten Grades, die dort von der zweiten Ordnung verschwinden. Daraus folgt, daß X, Y, Z, U durch eine quadratische Gleichung verbunden sind.

Betrachtet man die Funktionen dritten Grades von x, y, z, die in sechs gegebenen Punkten verschwinden, so hat man ebenfalls vier linear unabhängige: X, Y, Z, U. Stellt man eine kubische Funktion von X, Y, Z, U auf, so hat diese 20 Koeffizienten. Sie ist eine Funktion neunten Grades von x, y, z, die in den sechs Punkten von der

dritten Ordnung verschwindet. Aber die Anzahl der linear unabhängigen Funktionen dieser Art ist

$$\frac{10\cdot 11}{1\cdot 2} - 6\cdot\frac{3\cdot 4}{1\cdot 2} = 19.$$

Daraus folgt, daß zwischen den 20 Funktionen X^3, X^2Y usw. identisch eine lineare Gleichung besteht; X, Y, Z, U sind durch eine kubische Gleichung verbunden. Wir können den Satz aussprechen:

Die Gleichung der allgemeinen Fläche dritter Ordnung wird rational aufgelöst, indem man die vier Variabeln gleich kubischen Funktionen dreier Größen x, y, z setzt, die sechs gemeinsame Nullpunkte haben.

Ausgegeben am 5. November.

SITZUNGSBERICHTE 1914.
XXXVII.
DER
KÖNIGLICH PREUSSISCHEN
AKADEMIE DER WISSENSCHAFTEN.

29. October. Sitzung der philosophisch-historischen Classe.

Vorsitzender Secretar: Hr. Diels.

*1. Hr. Roethe sprach über Jacob Vogels Lied: »Kein seeligr Tod ist in der Welt« und über Vogels literarhistorische Stellung.

Im Anschluß an eine eingehende Analyse des Liedes wurde Vogel als typischer Vertreter der absterbenden Reimpaardichtung charakterisiert. Er pflegt in seinen Drucken ganz genau durch Apokope und Synkope auszudrücken, welche Wortformen er gelesen wissen will. Vergleichend werden für diese Methode Weckherlin und die beiden Auflagen von Andreaes »Geistlicher Kurzweil« herangezogen. Endlich wurde entwickelt, wie sich das Repertoir der Reimpaar- und der Alexandrinerdichtung bis zur Mitte des 17. Jahrhunderts gegeneinander abgrenzt.

2. Hr. Seckel legte eine Mitteilung des Hrn. P. Raphael Kögel, O.S.B., aus Wessobrunn, Bayern, vor: Die Palimpsestphotographie. Ein Beitrag zu den philologisch-historischen Hilfswissenschaften.

Die Palimpsestphotographie umfaßte bisher zwei Verfahren, die dem Zweck angepaßte Reproduktionsphotographie und die Ultraviolettphotographie. Beide Verfahren hat der Verfasser schon früher weiter ausgebaut. Beiden ist gemeinschaftlich das Grundgesetz der Identität der vom Planum reflektierten und auf der lichtempfindlichen Schicht wirksamen Strahlen. Mikrochemische Textuntersuchungen bewiesen aber, daß sich umfangreiche Schriftgebiete der Differenzierung durch die bisherigen Verfahren entzogen hatten. Die neue Methode, deren Auffindung dem Verfasser gelang, ist die Fluoreszenzphotographie. Sie beruht auf der Tatsache, daß bei ultravioletter Beleuchtung das Pergament fluoresziert, der radierte Schriftkörper aber fast dunkel bleibt. Die Fluoreszenzphotographie übertrifft durch ihre Textergebnisse die bisherigen Verfahren um durchschnittlich 50 Prozent.

Die Palimpsestphotographie.

Ein Beitrag zu den philologisch-historischen Hilfswissenschaften.

Von P. R. Kögel, O. S. B.
in Wessobrunn, Bayern.

(Vorgelegt von Hrn. Seckel.)

In jüngster Zeit wurden der philologisch-historischen Forschung hoffnungsvolle Aussichten auf neue Quellen eröffnet.

Die Eigenart des Gegenstandes forderte zu seiner zweckmäßigen Erschließung besondere optische Hilfsmittel, deren Herstellung größtenteils erst der neuesten Technik möglich war.

Die Palimpsestphotographie umfaßt, soweit sie die Primärschrift betrifft, drei, in ihrer technischen Ausführung verschiedene Verfahren.

Das erste ging unmittelbar aus einer dem Zweck entsprechenden Anwendung der bereits bekannten Gesetze der Reproduktionsphotographie hervor. Es besitzt bis heute noch seinen Wert zur Wiedergabe gut erhaltener Palimpseste, weshalb seine Grundzüge zunächst ausgeführt werden sollen.

Das Planum der Handschrift wird nach der additiven Farbensynthese komplementär beleuchtet. Diese komplementäre Beleuchtung entspricht erstens der vorwiegend Blau- bzw. Violettempfindlichkeit der gewöhnlichen Bromsilberplatte und zweitens der Forderung der gelbunempfindlichen Platte, von einem etwa gelblichen Planum ein aktinisches Weiß- bzw. Blaubild zu vermitteln.

Die Beleuchtung muß insbesondere sehr kräftig sein, denn nicht der Farbengegensatz zwischen Planum und Primärschrift allein hebt die letztere hervor, sondern die Intensität des Farbengegensatzes.

Monochromatisches Licht ist jedoch, von seltenen Ausnahmefällen abgesehen, dann nicht geboten, wenn in den Strahlengang zwischen Objekt und Objektiv ein zur Primärschrift nach der subtraktiven Farbenmischung komplementäres Lichtfilter (Kontrastfilter) eingeschaltet wird.

Den an die Lichtquellen zu stellenden Ansprüchen genügt elektrisches Bogenlicht oder Quecksilberdampflicht.

Eine kontrastreiche, aber auch lückenlose Wiedergabe des aktinischen Bildes bedingt eine richtige Auswahl unter dem lichtempfindlichen Reproduktionsmaterial.

Die Forderung nach einem möglichst gedeckten Planum weist zunächst auf die photomechanische Platte hin oder auf die nasse Kollodionplatte.

Erfahrungsgemäß ist denselben jedoch die gewöhnliche Bromsilberplatte dann vorzuziehen, wenn das Planum nicht einheitlich weiß ist. Wird der photomechanischen Platte nämlich jene Belichtung gegeben, welche für Strichaufnahmen üblich ist, so werden zarte Schriftspuren nicht selten überdeckt.

Die große Gelbunempfindlichkeit der photomechanischen Platte gibt auch von einem gelben Planum eine geringere Deckung, in welcher schwache Schriftzüge nicht mehr zu unterscheiden sind. In solchen Fällen ist daher auch ein Blau- bzw. Violettfilter nicht anzuwenden.

Die photomechanische Platte findet aber als orthochromatische Zeitplatte dann Verwendung, wenn das Planum ein stark ausgeprägtes Gelb oder Flecken aufweist, deren Farbe gegen Rot neigt, wie z. B. die der braunen Flecken des Gallussäurereagens.

In diesem Falle wird in den Strahlengang zwischen Original und Platte ein Gelbfilter geschaltet. Die braune Farbe des Gallussäurefleckens reflektiert nämlich nur einen geringen Teil des blauen Lichtes und würde daher zu der erforderlichen negativen Deckung eine größere Expositionsdauer verlangen. Dabei würde aber die Primärschrift überlichtet. Dem Gelbfilter fällt hiermit die Aufgabe zu, das von der Schrift reflektierte Blau-Violett auf ein unschädliches Minimum herabzusetzen, so daß die Eigenfarbe des Planums auf der Platte durch deren Orthochromasie wirksam wird.

Aus den genannten Grundzügen des Verfahrens geht nun hervor, daß in der Wiedergabe jener Schriften, welche mit dem Planum große Farbenähnlichkeit besitzen, die Möglichkeitsgrenzen bald erreicht sind.

Das Ergebnis an Primärschrift, welches mit diesem Verfahren, dem jeweiligen Falle angepaßt, erreicht wird, erstreckt sich bei gut erhaltenen Palimpsesten auf den größten Teil des vorhandenen Textes. Bei den meisten, gewöhnlich stark radierten Palimpsesten wird dagegen nur etwa die Hälfte des Textes in leserlicher Form gewonnen[1], bei pigmentierten Pergamenten noch weniger.

Eine Erweiterung des beschriebenen Verfahrens erfolgte durch die Ultraviolettphotographie. Bekanntlich liegt jenseits des violetten Teiles

[1] Eine Durchsichtsbeleuchtung würde einen höheren Betrag ergeben, bringt aber dagegen ein Buchstabengemenge von zwei bis zu vier Schriften.

des Spektrums ein großes, unsichtbares Strahlengebiet, dessen Umfang zwei Oktaven beträgt. Bis jetzt wurde nur ein Teil desselben zu photographischen Untersuchungen benutzt, da die Wellen unter 180 $\mu\mu$ (Millionstelmillimeter) von der Luft absorbiert werden.

Die Verwendung des U.V. zur photographischen Wiedergabe von Palimpsesten konnte von der Überlegung ausgehen, daß U.V. von der gelbroten Primärschrift noch weniger reflektiert würde als Blau und Violett und daß es infolgedessen auch solche Schriften differenzieren würde, welche aus irgendeinem Grunde gleiche Beträge an sichtbarem Licht wie das Planum reflektieren.

Diese Erwägung fand auch ihre experimentelle Bestätigung[1]. Durch die nur mäßige U.-V.-Reflexionsfähigkeit des Pergamentes, welche mit der Brechbarkeit der Wellen abnimmt, kann aber die Absorptionsfähigkeit der Primärschrift nicht zur vollen Verwertung gelangen.

Immerhin wird mittels der U.-V.-Photographie ein, wenn auch geringer Textgewinn erzielt. Aussichten auf Erfolg eröffnen sich auch bei solchen Schriften, welche durch chemische Veränderungen eine U.-V.-Reflexionsfähigkeit erlangt haben. Sehr geeignet hat sich das Verfahren zur Untersuchung von Flecken und Pergamentstrukturen (Falten) erwiesen, welche öfters Schriftzüge vortäuschen.

Zur Ausführung des Verfahrens sind ultraviolettreiche Lichtquellen erforderlich, so offenes elektrisches Bogenlicht (Eisen- oder Nickelkohlen) oder Quecksilberdampflicht mit Quarz- oder Uviolglaskörper.

Die sichtbaren Strahlen müssen aus dem aktinischen Bilde durch ein entsprechendes Lichtfilter ausgeschaltet werden. Dasselbe besteht z. B. aus einer Silberschicht[2], welche entweder auf eine Linse des Quarzobjektivs oder auf einen besonderen Träger (Quarzplatte) chemisch niedergeschlagen wird. Es gibt hauptsächlich die Linien von 313 bis 327 $\mu\mu$ Wellenlänge frei. Ein anderes Lichtfilter[3] besteht aus einer Blauuviolglasdoppelküvette mit einer Füllung von einer Nitrosodimetylanilin- und Kupfersulfatlösung. Es läßt neben der Linie von 350 $\mu\mu$ bzw. 366 $\mu\mu$ teilweise angrenzende Strahlen durch. Diese erzeugen jedoch infolge der vorherrschenden Wirkung der Linie von 366 $\mu\mu$ (oder je nach Glasfluß und Lichtquelle einer anderen Linie) keine besonders störende Fockusdifferenzen.

---

[1] Vgl. auch O. Mente, Die ultravioletten Strahlen in der Photographie, Zeitschr. f. Reproduktionstechnik, Heft 4, 1913.

[2] Chardonnet, Compt. rend. Bd. 94 S. 1171. Eder, Handbuch der Photographie, I, 4 S. 183, 1910.

[3] Vgl. Das U.-V.-Filter und die U.-V.-Filterlampe als Apparat zur Lumineszenzanalyse. Von Dr. H. Lehmann. Zeitschr. f. Instrumentenkunde 1912, Heft 2.

Die unter 313 μμ liegenden Strahlen können von den anderen durch das Silberfilter nicht getrennt werden. Sie werden aber auf prismatischem Weg freigelegt, wozu die gleiche Vorrichtung zu verwenden ist, welche für Fluoreszenzphotographie später kurz beschrieben wird.

Die Aufnahme mit Strahlen unter 366 μμ kann nur mit einem Quarzobjektiv ausgeführt werden, da das Glas der gebräuchlichen Reproduktionsobjektive die genannten Strahlen absorbiert.

Als Aufnahmematerial sind bindemittelarme, photomechanische Platten zu benutzen[1].

Die Einstellung auf scharfe Zeichnung muß experimentell erfolgen, da das Bild unsichtbar ist. Sie kann auch rechnerisch ermittelt werden.

Die bisher beschriebenen Verfahren haben das Grundgesetz der Identität der vom Planum reflektierten und auf der lichtempfindlichen Schicht wirksamen Strahlen gemeinschaftlich. Ein Unterschied ist, abgesehen von den verschiedenen technischen Mitteln, nur durch die Auswahl des Farbengebietes gegeben. Mit ihr sind auch die Möglichkeiten der Palimpsestphotographie in dieser Hinsicht theoretisch wenigstens erschöpft.

Mikrochemische Textuntersuchungen bewiesen aber, daß sich umfangreiche Schriftgebiete der Differenzierung durch die bisherigen Methoden entzogen hatten.

Es mußte deshalb nach neuen Mitteln gesucht werden, was dem Verfasser auch gelang. Er ging von der bekannten Tatsache aus, daß die meisten organischen Substanzen fluoreszieren und daß an der Entstehung dieser Erscheinung sehr häufig ultraviolette Strahlen beteiligt sind. Es wurde nun untersucht, ob das Pergament und der Tintenkörper bei reiner ultravioletter Beleuchtung Fluoreszenz zeigen würden. Der letztgenannte Körper konnte infolge seiner eigenartigen Zusammensetzung ungünstige Überraschungen bereiten. Die Tinte besteht nämlich aus einer Verbindung der organischen Gallussäure und des anorganischen Eisens mit schwefelhaltigen Beimischungen. Verschiedene Schwefelverbindungen phosphoreszieren aber äußerst stark (Leuchtfarben).

Es hat sich nun gezeigt[2], daß das Pergament ziemlich ergiebig fluoresziert[3], der radierte Schriftkörper aber fast, wenn nicht ganz

---

[1] Vgl. V. Schumann, Sitzungsber. d. Kais. Akad. d. Wiss., Wien 1893, Bd. 102, IIa. S. 994. Ferner Eders Jahrbuch f. Photographie 1910, S. 486.

[2] Mit U.-V.-Projektionsvorrichtung der C. Zeiß-Werke, Jena.

[3] Die gleiche Fluoreszenz wird durch das Tageslicht, insbesondere aber durch elektrisches Licht, hervorgerufen, da beides Strahlen bis zu 280 μμ enthält. Die Fluoreszenz ist aber durch das sichtbare Licht überdeckt und kann daher ohne weiteres nicht wahrgenommen werden.

dunkel bleibt. Chemische Veränderungen des Pergaments, wie Verfettung u. dgl., beeinträchtigen nicht immer seine Leuchtkraft, erhöhen sie dagegen manchmal.

Bei pigmentierten Pergamenten beträgt das Verhältnis der mehr oder weniger leuchtenden Stellen zu den nicht leuchtenden, auch in ungünstigen Fällen 3:1, was als sehr befriedigend bezeichnet werden kann.

Zur Erzeugung der Fluoreszenz wird das Licht einer Quarzlampe mit einem Kondensor, der sehr nahe an die Lichtquelle zu bringen ist, zusammengefaßt. Durch einen Spalt gelangt es auf eine bikonvexe Linse und wird mit derselben auf ein Prisma geführt. Dasselbe lenkt es auf ein zweites Prisma ab, welches das Spektrum entwirft. Mit der bikonvexen Linse werden die einzelnen Linien scharf eingestellt. Da die Fluoreszenz des Pergaments immerhin visuell nicht sehr kräftig ist und daher über die zweckmäßige Aufbereitung des Spektrums keine Sicherheit gibt, so ist zur deutlichen Sichtbarmachung der U.-V.-Linien ein Phosphoreszenzschirm kaum zu entbehren.

Von dem gesamten Spektrum werden nur die Linien unter 334 μμ verwendet und durch Öffnen des Spaltes zu einem einheitlich fluoreszenzerregenden Bande vereinigt.

Für die vollständige Ausscheidung des vom Original zum Teil reflektierten U. V. sind keine besonderen Hilfsmittel erforderlich. Die Absorptionswirkung der Glaslinsen genügt. Die beschränkte Aktivität des Fluoreszenzlichtes verlangt sehr lichtstarke Objektive, welche bei voller Öffnung das ganze Format ohne sphärische und chromatische Differenzen auszeichnen sollen.

Die Fluoreszenzphotographie übertrifft durch ihre Textergebnisse die bisherigen Verfahren um durchschnittlich 50 Prozent.

Zur besonderen Hervorhebung der gewonnenen Primärschrift auf dem Positiv kann die zweite Schrift nach dem Verfahren von E. Pringsheim und O. Gradenwitz[1] abgedeckt werden. Über die Einzelheiten des Verfahrens und den weiteren Ausbau desselben durch den Verfasser wurde bereits an anderer Stelle[2] berichtet.

---

[1] Eder, Jahrbuch für Photographie und Reproduktionstechnik, 1901, S. 52—56.

[2] Die Photographie historischer Dokumente. Von P. R. Kögel, O. S. B. (Beihefte zum Zentralblatt für Bibliothekswesen XLIV, Leipzig, Harrassowitz, 1914), S. 80 ff.

Ausgegeben am 5. November.

Berlin, gedruckt in der Reichsdruckerei.

1914.
XXXVIII.

SITZUNGSBERICHTE

DER

KÖNIGLICH PREUSSISCHEN

AKADEMIE DER WISSENSCHAFTEN.

5. November. Gesammtsitzung.

Vorsitzender Secretar: Hr. Planck.

1. Hr. Schwarzschild legte durch Hrn. Einstein eine Untersuchung vor: Über Diffusion und Absorption in der Sonnenatmosphäre. (Ersch. später.)

Es wird berechnet, wie sich die Intensitätsverhältnisse im Sonnenspektrum von der Mitte nach dem Rand der Sonnenscheibe ändern, wenn die Sonnenatmosphäre das Licht streut, ohne es zu absorbieren. Die Ergebnisse werden mit Messungen an den Kalziumlinien H und K verglichen;

ferner eine zweite Untersuchung: Über die Verschiebungen der Bande bei 3883 Å im Sonnenspektrum. (Ersch. später.)

Die Wellenlängen von Linien der Stickstoffbande bei 3883 Å, die im Sonnenspektrum auftritt, wurden für verschiedene Punkte der Sonnenscheibe mit den entsprechenden irdischen Wellenlängen verglichen. Es ergab sich eine kleine Rotverschiebung der Sonnenlinien, die in der Hauptsache durch eine absteigende Bewegung des die Fraunhoferschen Linien erzeugenden Stickstoffes von 0.3 km/sec erklärt werden kann.

Diese und die sonst bisher publizierten Messungen an Linien anderer Stoffe geben eine gewisse Wahrscheinlichkeit gegen die Existenz der von Hrn. Einsteins Gravitationstheorie geforderten allgemeinen Rotverschiebung der Linien im Sonnenspektrum.

2. Hr. Hellmann sprach über die Verteilung der Niederschläge in Norddeutschland.

Auf Grund 20jähriger Beobachtungen von 2647 Stationen sind Jahres- und Monatsregenkarten der preußischen Provinzen entworfen worden, welche zum ersten Male gestatten, die räumliche und zeitliche Verteilung der Niederschläge in Norddeutschland eingehender zu studieren. Als mittlere jährliche Niederschlagshöhe ergibt sich für ganz Norddeutschland 638 mm. Posen ist mit 509 mm die trockenste, Westfalen mit 807 mm die regenreichste Provinz. Die größte Niederschlagsmenge (1700 mm) fällt auf dem Gipfel des Brocken und im obersten Tal der Sieber (Harz), die kleinste (420 mm) im Kreise Hohensalza und im Kulmer Land. Die jahreszeitliche Verteilung der Niederschläge führt zur Aufstellung verschiedener Typen und wird durch eine Karte erläutert: die Jahresamplitude wird erstmalig durch Linien gleicher Schwankung detailliert dargestellt.

3. Vorgelegt wurde der neu erschienene 36. Band der Politischen Correspondenz Friedrich's des Grossen (Berlin 1914).

Über die Verteilung der Niederschläge in Norddeutschland.

Von G. Hellmann.

Zur näheren Erforschung der Niederschlagsverhältnisse von Norddeutschland[1] begann ich 1887 durch das Kgl. Preußische Meteorologische Institut ein dichtes Netz von Regenstationen einzurichten, dessen Organisation von Osten nach Westen fortschritt und 1893 zum vorläufigen Abschluß kam. Es umfaßte damals 1939 Stationen und ist allmählich weiter verdichtet worden, so daß jetzt an rund 2950 Orten die Niederschläge regelmäßig gemessen werden. Die Einrichtung dieses Beobachtungsnetzes, das jetzt das dichteste auf dem Kontinent ist, wurde dadurch erleichtert, ja in gewissem Sinne ermöglicht, daß ich dafür einen eigenen Regenmesser konstruierte (Mod. 1886), der handlich, billig und leicht versendbar ist.

Als die Stationen in den einzelnen Provinzen ein Jahrzehnt lang tätig gewesen waren, ging ich daran, das reiche Beobachtungsmaterial unter anderem auch zum Studium der räumlichen Verteilung der Niederschlagsmenge zu verwerten und Jahresregenkarten der Provinzen zu veröffentlichen. Sie erschienen, begleitet von Text und Tabellen, in den Jahren 1899 bis 1903 und lieferten zum ersten Male ein Bild von der großen Mannigfaltigkeit im Ausmaß der Niederschläge in Norddeutschland.

Nachdem zwanzig Beobachtungsjahre vorlagen, schien es mir angezeigt, die Karten auf Grund der Aufzeichnungen von doppelt so langer Dauer aufs neue zu entwerfen und zugleich den Versuch zu wagen, solche Karten für die einzelnen Monate zu konstruieren, da diese erst ein richtiges Verständnis von dem Zustandekommen der Verteilung der Jahresmengen ermöglichen.

---

[1] Das Königreich Sachsen, das ein eigenes staatliches Beobachtungsnetz besitzt, bleibt hier außer Betracht, dagegen sind alle nichtpreußischen Staaten in Norddeutschland sowie das von Hessen-Nassau umschlossene Oberhessen mit einbegriffen.

Diese Arbeit ist kürzlich zum Abschluß gelangt; es liegen nun 126 Karten vor, welche die jährliche und monatliche Verteilung der Niederschlagsmenge in Norddeutschland in Farbendruck zur Darstellung bringen[1].

Ich will an dieser Stelle einige allgemeine Ergebnisse aus ihnen mitteilen.

1.

Zunächst interessiert die Tatsache, daß das auf Grund zwanzigjähriger Beobachtungen entworfene Kartenbild in allen wesentlichen Zügen mit den aus zehnjährigen Aufzeichnungen gewonnenen übereinstimmt. Es bleiben daher die allgemeinen Gesichtspunkte, die ich über die Regenverteilung in Norddeutschland sowie über deren Ursachen früher aufgestellt habe, zu Recht bestehen[2].

Im einzelnen ist dagegen, namentlich im Gebirge, wo dank der vermehrten Zahl der Stationen der Verlauf des Isohyeten genauer verfolgt werden konnte, manche kleine Änderung eingetreten. Die mittlere Niederschlagsmenge der einzelnen Provinzen erfuhr aber dadurch kaum eine nennenswerte Beeinflussung, wie die Zusammenstellung auf der folgenden Seite zeigt.

Der Unterschied beträgt bei den einzelnen Provinzen durchschnittlich nur 6 mm, d. h. rund 1 Prozent, während für ganz Norddeutschland die Mittelwerte, praktisch genommen, gleich groß sind.

Es kann im ersten Augenblick befremdlich erscheinen, daß 10- und 20jährige Mittel des Regenfalles ganzer Provinzen so wenig voneinander abweichen, während man von ebenso gebildeten Mittelwerten einzelner Stationen längst weiß, daß sie große Verschiedenheiten zeigen können. Die Erklärung dafür liefert die Tatsache, daß, wie fast bei jeder Provinz festgestellt wurde, die Abweichungen der 10- und 20 jährigen Mittel der Stationen mit langjährigen Reihen (50 bis 65 Jahre) vom Normalmittel nicht immer gleichmäßig ausfallen. Neben positiven Abweichungen kommen auch negative vor, d. h. die Anomalien des Regenfalles sind für ein räumliches Gebiet von der Größe einer preußischen Provinz nicht so gleichmäßig, wie dies z. B. bei der Temperatur der Fall ist. Der Grund davon liegt offenbar in den Gewitterregen, deren Intensität von Ort zu Ort stark wechselt und die auch das Mittel einer einzelnen Station beeinflussen können.

[1] Diese Karten erschienen 1911 bis 1914, wieder mit erläuterndem Text und Tabellen, in 8 Heften bei Dietrich Reimer in Berlin.

[2] Vgl. die einzelnen Regenkarten (in der ersten Auflage) sowie meine »Regenkarte von Deutschland« (Berlin 1906. Fol.).

Mittlere jährliche Niederschlagshöhe (mm) der preußischen Provinzen nach 10- und 20jährigen Beobachtungen.

	10 Jahre	20 Jahre	Unterschied (20—10 Jahre)
Ostpreußen	600	608	8
Westpreußen	541	536	− 5
Brandenburg	556	554	− 2
Pommern	599	610	11
Posen	513	509	− 4
Schlesien	680	666	−14
Sachsen[1]	593	598	5
Schleswig-Holstein[2]	718	714	− 4
Hannover[3]	690	695	5
Westfalen[4]	804	807	3
Hessen-Nassau[5]	692	699	7
Rheinprovinz[6]	754	767	13
Norddeutschland[7]	637	638	1

Dadurch, daß sich die entgegengesetzten Anomalien im Mittelwert der ganzen Provinz zum Teil ausgleichen, entsteht die geringe Verschiedenheit des 10- und 20jährigen Durchschnitts.

Der Vergleich der mittleren Niederschlagsmenge der einzelnen Provinzen mit dem von ganz Norddeutschland zeigt, daß die sechs Provinzen Posen, Westpreußen, Brandenburg, Sachsen, Ostpreußen und Pommern als trocken, die andern sechs: Schlesien, Hannover, Schleswig-Holstein, Hessen-Nassau, Rheinprovinz und Westfalen als naß bezeichnet werden können. Posen ist die regenärmste, Westfalen die niederschlagsreichste Provinz.

Der bloße arithmetische Mittelwert wird auch in diesem Falle wirkungsvoll beleuchtet durch die Angabe der Areale, die auf die in den Regenkarten unterschiedenen Niederschlagsstufen entfallen. Darüber gibt folgende Tabelle Auskunft.

---

[1] Einschließlich der Thüringischen Staaten, des Herzogtums Anhalt und des zur Provinz Hessen-Nassau gehörigen Kreises Schmalkalden.

[2] Einschließlich Fürstentum Lübeck, Freie Stadt Lübeck und Freie Stadt Hamburg (rechtes Elbufer).

[3] Einschließlich Herzogtum Oldenburg, Herzogtum Braunschweig, Freie Stadt Bremen und Freie Stadt Hamburg (Amt Ritzebüttel).

[4] Einschließlich der Fürstentümer Waldeck, Schaumburg-Lippe und Lippe sowie der Grafschaft Schaumburg (Provinz Hessen-Nassau).

[5] Einschließlich des zur Rheinprovinz gehörigen Kreises Wetzlar, aber ausschließlich des Kreises Schmalkalden und Grafschaft Schaumburg.

[6] Einschließlich des Fürstentums Birkenfeld, aber ausschließlich des Kreises Wetzlar.

[7] Einschließlich Oberhessen, aber ausschließlich des Königreichs Sachsen.

Areale der verschiedenen Niederschlagsstufen in Prozenten der Gesamtfläche.

	unter 500 mm	500 bis 600 mm	600 bis 700 mm	700 bis 800 mm	800 bis 1000 mm	1000 bis 1200 mm	1200 bis 1400 mm	über 1400 mm
Ostpreußen	-	52.2	45.6	2.2	-	-	-	-
Westpreußen	25.0	61.8	13.0	0.2	-	-	-	-
Brandenburg	4.3	84.9	10.8	-	-	-	-	-
Pommern	3.6	46.8	44.6	5.0	-	-	-	-
Posen	42.4	57.1	0.5	-	-	-	-	-
Schlesien	0.1	26.4	45.2	21.0	5.9	0.5	0.5	0.4
Sachsen	8.3	59.2	20.8	6.2	4.0	1.2	0.3	-
Schleswig-Holstein	-	4.7	29.5	64.3	1.5	-	-	-
Hannover	-	7.6	48.7	38.6	3.5	1.0	0.4	0.2
Westfalen	-	1.1	13.7	50.4	24.4	9.3	1.1	-
Hessen-Nassau	0.7	14.8	48.0	16.2	19.5	0.8	-	-
Rheinprovinz	0.9	7.0	31.1	30.1	21.7	6.9	2.3	-
Norddeutschland	6.6	36.7	30.6	18.0	6.2	1.5	0.3	0.1

In Posen und Westpreußen haben die Gebiete mit weniger als 500 mm jährlicher Niederschlagsmenge, d. h. die eigentlichen Trockengebiete, die größte Ausdehnung, während in keiner Provinz die Niederschlagsstufe 800—1000 mm so viel Fläche einnimmt wie in Westfalen.

Gleichwohl befindet sich der regenreichste Ort nicht in Westfalen, sondern im Harz. Nach meinen früheren Untersuchungen hatte sich ergeben, daß der Gipfel des Brockens (1140 m) den meisten Niederschlag in Norddeutschland, nämlich rund 1700 mm, erhält[1]. Neuere, seit 1907 ausgeführte Messungen zeigen nun, daß wahrscheinlich im obersten Tal der Sieber fast ebenso große Mengen fallen. Schon im unteren Teil ist das Siebertal sehr regenreich, da der Ort Sieber in 340 m Seehöhe 1389 mm erhält, während im oberen Teil das Forsthaus Schluft (580 m) nur 3.3 Prozent weniger als der Brockengipfel empfängt; in den besonders nassen Jahren 1909 und 1912 sind in Schluft sogar mehr Niederschläge gefallen als auf dem Brockengipfel. Es ist das einer der schlagendsten Beweise dafür, daß nicht die absolute Seehöhe eines Ortes für den Betrag seiner Niederschlagsmenge maßgebend ist, sondern seine besondere Lage. Die Streichungsrichtung

[1] Vgl. meine letzte Mitteilung darüber in »Die Niederschlagsverteilung im Harz« (Bericht über die Tätigkeit des Kgl. Preuß. Meteorol. Instituts im Jahre 1913. Berlin 1914 S. [15]). — Die genaue Messung der winterlichen Niederschläge auf dem Brocken, wie auf jedem Berggipfel, ist mit großen Schwierigkeiten verbunden, weil der störende Faktor, der Wind, schwer zu beseitigen ist. Auf dem Brockengipfel steht je ein Regenmesser nördlich, östlich und südlich von den Gebäuden, und es wird die jeweilig größte gemessene Menge in den drei Instrumenten als maßgebend angesehen.

des Siebertales von SW nach NO begünstigt das Aufsteigen der feuchten Südwestwinde, die durch den in der gleichen Richtung (SW—NO) streichenden Bergrücken »Der Acker« in das enge Tal gelenkt wird. Es ist daher sehr wohl möglich, daß ein Punkt im oberen Einzugsgebiet der Sieber, z. B. auf dem bis zu 866 m ansteigenden »Acker« selbst, die größte Niederschlagsmenge in Norddeutschland erhält. Da der gänzliche Mangel an Ortschaften und Einzelsiedelungen in diesem Gebiet die tägliche Messung der Niederschläge verhindert, soll versucht werden, durch Regenmesser, die nur dreimal im Monat nachzusehen sind, die Monatsmengen wenigstens in der warmen Jahreshälfte zu ermitteln.

Ebenso läßt sich noch nicht mit absoluter Sicherheit sagen, welches der trockenste Ort Norddeutschlands ist. Nach den bisherigen Messungen erweist sich Kruschwitz am Nordende des Goplosees im Kreise Hohensalza mit 416 mm als solcher. Schwetz an der Weichsel hat nur wenig mehr (420 mm), und im Kulmer Land gibt es wahrscheinlich manchen Ort, der ebenso trocken ist. Diese Gegend zeichnet sich durch intensiven Zuckerrübenbau aus, der in allen Trockengebieten von Westpreußen, Posen, Brandenburg, Schlesien und Sachsen vorzüglich gedeiht, weil reichlicher Sonnenschein mit der Regenarmut Hand in Hand geht, während das trockenste Gebiet in Hessen-Nassau und in der Rheinprovinz, nämlich der Rheingau und das untere Nahetal, aus dem gleichen Grunde dem Weinbau am günstigsten ist.

2.

Da von den zur Konstruktion der Jahresregenkarten verfügbaren 2647 Stationen nur 37 Prozent vollständige 20jährige Beobachtungsreihen aufwiesen, mußte bei den übrigen die Jahresmenge in der bekannten Weise durch Reduktion auf benachbarte Stationen ermittelt werden. Es geschieht dies in einem so dichten Netz wie dem norddeutschen mit relativ großer Genauigkeit, nur im Gebirge wird das Verfahren bisweilen unsicher. Dagegen schien es mir untunlich, nach derselben Methode auch die Monatswerte bei den unvollständigen Reihen zu reduzieren. In der kalten Jahreszeit, in der die zyklonalen Niederschläge weitaus überwiegen, würde, wie mehrere Stichproben ergaben, der Fehler der Reduktion relativ klein sein, in der warmen Jahreshälfte aber ziemlich groß, da die ergiebigen Gewitterregen dieser Jahreszeit ein viel lokaleres Gepräge haben.

Ich schlug deshalb ein anderes Verfahren ein, das meines Wissens neu ist. Von allen Stationen mit vollständigen 20jährigen Reihen wurden die 20jährigen Monatsmittel berechnet, in Prozenten der Jahressumme ausgedrückt und diese zur graphischen Darstellung des jähr-

lichen Ganges der Niederschlagsmenge benutzt. Hierauf wurden alle Stationen, bei denen der Verlauf der Kurven der gleiche oder nahezu der gleiche war, zu regionalen Gruppen zusammengefaßt und für diese der mittlere jährliche Gang, wieder ausgedrückt in Prozenten, abgeleitet. Es schien mir nun berechtigt zu sein, anzunehmen, daß alle Orte innerhalb des Gebietes einer Gruppe dieselbe jährliche Periode des Niederschlags besitzen, so daß man diese auf die ihm zugehörigen Orte mit unvollständigen Reihen zur Berechnung der Monatswerte anwenden kann. Um dabei möglichst wenig Zwang auszuüben, wurden unter Berücksichtigung kleiner gemeinsamer Züge im Verlauf der Kurven sehr viele Gruppen unterschieden, in jeder Provinz 7—12, insgesamt 83. Sie sind natürlich von höchst ungleicher Ausdehnung; manche umfassen nur ein sehr kleines Gebiet, einige, wie namentlich die der Ebene, erstrecken sich fast über eine halbe Provinz.

Die aus dem gedachten Grunde berücksichtigten feineren Unterschiede im jährlichen Gang der Niederschlagsmenge werden in längeren Beobachtungsreihen von 50—60 Jahren, wie sie zur Ableitung normaler Monatsmittel notwendig sind, sicherlich zum Teil fortfallen, zum Teil stärker hervortreten. Immerhin gestatten die 20jährigen Monatsmittel von 976 Stationen mit vollständigen Reihen, wenn man nur die großen Züge des Kurvenverlaufes, insbesondere die Eintrittszeiten der größten und kleinsten Monatssumme, ihre Beträge sowie die Jahresschwankung in Betracht zieht, die Jahresperiode sehr viel genauer zu erfassen, als bisher an der Hand von etwa nur 40 Stationen mit langen Beobachtungsreihen möglich war.

Den größten Einfluß auf die Gestalt der Jahreskurve hat die Größe und die Eintrittszeit des monatlichen Maximums. Deshalb wähle ich dieses zur Aufstellung charakteristischer Typen des jährlichen Ganges der Niederschlagsmenge.

Hat ein Monat eine alle übrigen überragende Menge, so kann man von einem Haupttypus sprechen.

Liegt unmittelbar neben einem Höchstwert ein fast gleich hoher Monatswert, so hat man es mit einem Übergangstypus zu tun. Es möge die Schreibweise Juli/August bedeuten, daß dem Juli das Maximum zukommt, der August aber eine fast ebenso große Menge erhält[1].

Ist ein zweiter dem Höchstwert sehr nahe kommender Wert von diesem durch einen oder mehrere Monate getrennt, so liegt ein Nebentypus vor (sekundäres Maximum). Bisweilen wird es nötig, noch ein

[1] Der Fall, daß der Übergangstypus sich auf drei Monate ausdehnt, daß also das absolute Maximum von zwei nahezu gleich hohen Werten flankiert ist, kommt in Norddeutschland nicht vor, dagegen auf weite Erstreckungen in den nördlichen Alpen und im Bodenseegebiet.

zweites sekundäres Maximum zu unterscheiden. In den Gebirgslandschaften des westlichen Norddeutschland jenseits des Rheins herrscht dieser Nebentypus vor. Die Schreibweise Dezember/Oktober/Juli läßt einen solchen Nebentypus ohne weiteres erkennen und ihn von einem anderen: Juli/Oktober/Dezember sofort unterscheiden.

Während man früher beinahe nur die Haupttypen beachtete, lehrt das reiche neue Material, daß zwischen zwei Haupttypen die Übergangstypen selten fehlen und daß die Nebentypen an den Küsten, im Westen und in den höheren Ortslagen vorherrschen. Die Karte auf S. 988 veranschaulicht am besten, wie sich die verschiedenen Typen zonenartig aneinanderreihen. Nur einiges sei hier hervorgehoben.

Der Eintritt des Maximums schreitet in der Zeit von Juni bis Oktober im allgemeinen von Süden nach Norden fort, wobei der September ganz übersprungen wird. Besonders deutlich zeigt sich dies im östlichen Teil, der einfache topographische Verhältnisse besitzt. Der Übergangstypus Juni/Juli auf dem oberschlesischen Plateau ist eine Überleitung von den ausgesprochenen Juniregen in Ungarn zu dem Haupttypus Juli, der das ganze Innere des norddeutschen Flachlandes beherrscht. An diesen schließen sich von der Odermündung zur Weichselmündung und weiter ostnordöstlich verlaufende schmale Zonen mit dem Übergangstypus Juli/August, August/Juli bzw. mit dem Haupttypus August, und darauf folgt im nordöstlichsten Zipfel Ostpreußens der Nebentypus August/Oktober. Im westlichen Teil Norddeutschlands ist die Anordnung eine ähnliche, doch tritt hier im Norden noch ein weiterer Übergangstypus, nämlich Oktober/August, hinzu, das einzige Gebiet ausgesprochener Herbstregen, der für die nordfriesischen Inseln und einen schmalen Küstenstreifen von Schleswig charakteristisch ist. Der maritime Einfluß, der in diesen Oktoberregen zum Ausdruck kommt, reicht also nicht weit in das Festland hinein.

Eine besondere Erwähnung verdienen die Gebirgslandschaften Westdeutschlands, deren höchste Erhebungen einen Nebentypus aufweisen: das Hauptmaximum im Juli und ein zweites, nicht selten gleichwertiges Maximum in einem Wintermonat (Dezember, Januar, Februar). Die Erklärung dafür liefert die Tatsache, daß in Norddeutschland die Winterniederschläge auf Kosten der Sommerregen ganz allgemein von Osten nach Westen und vom Tiefland nach der Höhe hin zunehmen. In dem Ostdeutschland zugehörigen Riesengebirge wird trotz seiner Erhebung bis zu 1600 m dieser Nebentypus noch nicht erreicht, weil in der schlesischen Ebene die Juliregen so vorherrschen, daß sie 14—15 Prozent der Jahressumme ausmachen, während auf die Juliregen im Rheintal nur 11—12 Prozent entfallen. Dagegen findet sich dieser Höhentypus der jahreszeitlichen Niederschlagsver-

teilung in allen Gebirgen westlich der Elbe und Saale und setzt um so tiefer ein, je weiter westlich das Gebirge liegt; in Seehöhen von 300 m ist er hier schon anzutreffen. Selbst in den Ebenen Nordwestdeutschlands spielen die Oktober- und Dezemberniederschläge eine beachtenswerte Rolle[1].

Da die Winterniederschläge zur Speisung der Quellen und Flüsse viel mehr beitragen als die Sommerregen, ist die eben erwähnte jährliche Periode der Niederschlagsmenge für den Wasserreichtum des westlichen Norddeutschland von ausschlaggebender Bedeutung.

Die kleinste Monatssumme der Niederschläge fällt auf den Spätwinter (Februar) oder das zeitige Frühjahr (März, April).

In Ostpreußen ist der März am trockensten, im mittleren Teil Norddeutschlands westwärts bis zu einer Linie, die von Rügen über die Mündung der Havel nach der oberen Werra verläuft, der Februar und im übrigen Norddeutschland westlich von dieser Linie der April.

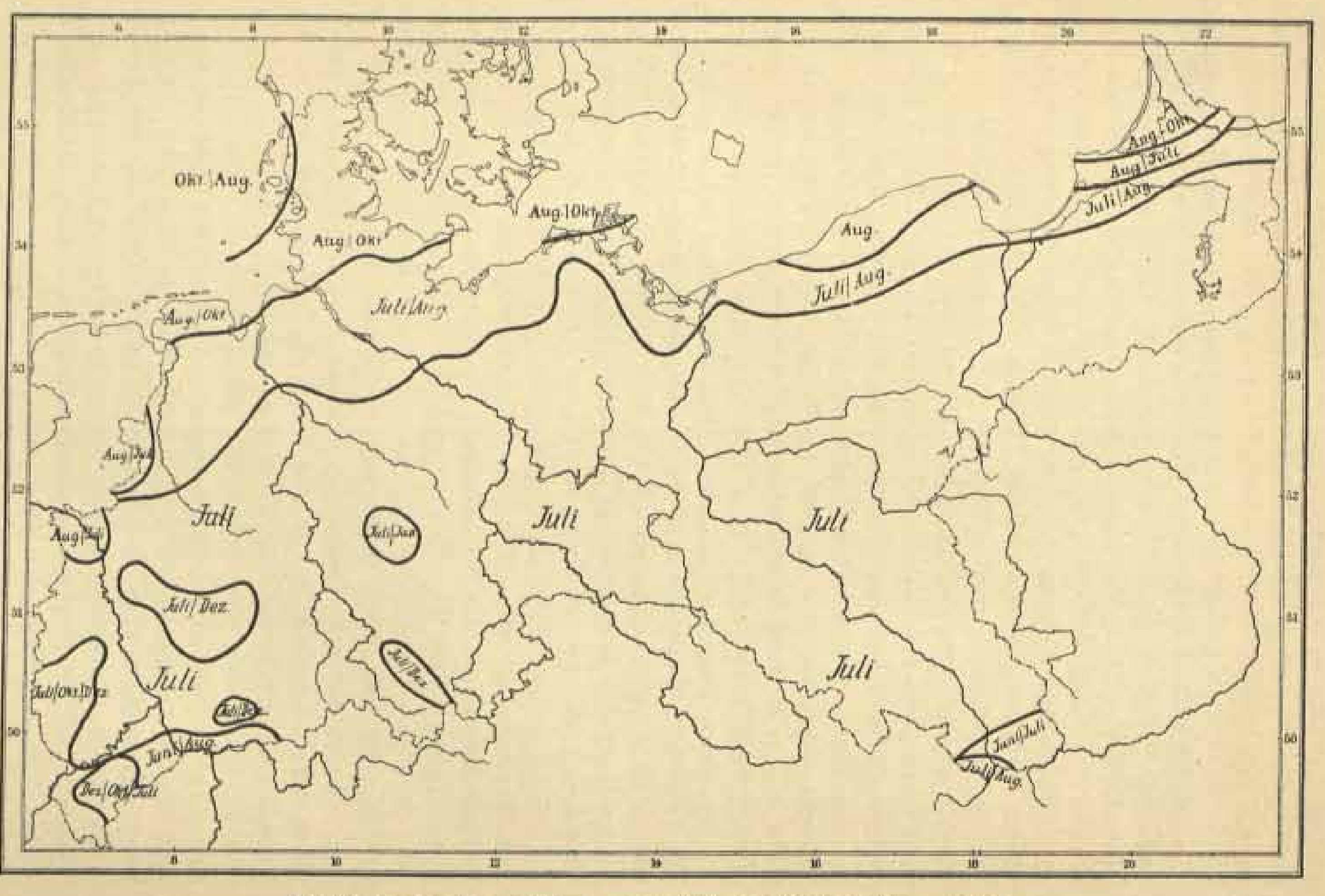
Im kontinentalen Oberschlesien geht der numerische Betrag der kleinsten Monatssumme bis auf 4 Prozent der Jahressumme herab, während er in dem mehr maritimen Einflüssen zugänglichen ebenen Nordwestdeutschland 6.5 bis 7 Prozent beträgt.

Aus den gemachten Angaben über den Betrag der größten und der kleinsten Monatsmenge des Niederschlags, ausgedrückt in Prozenten der Jahressumme, geht schon hervor, daß die mittlere Jahresschwankung des Regenfalls in Norddeutschland im allgemeinen von Osten nach Westen abnehmen muß.

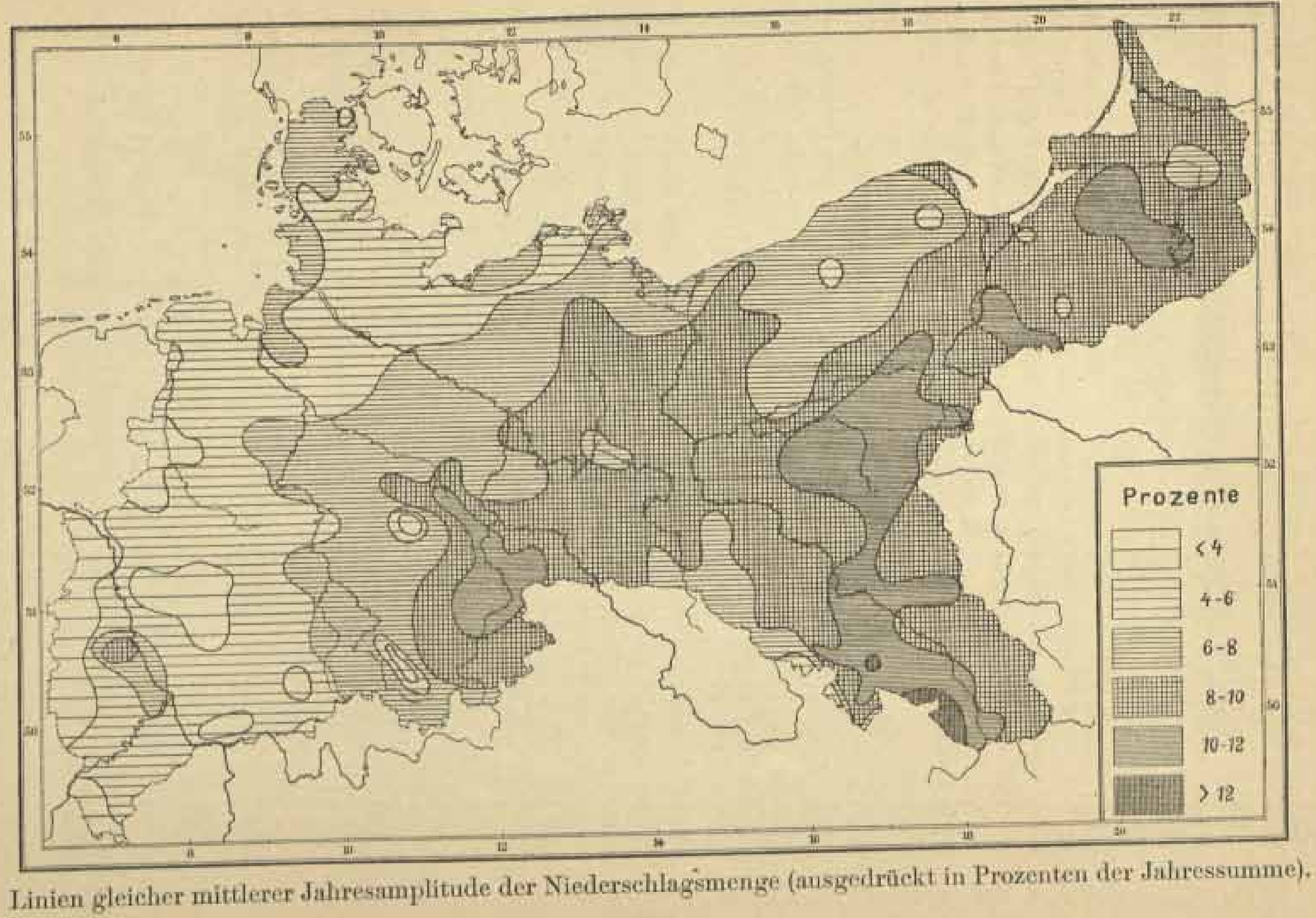
Eine einfache Überlegung lehrt, daß diese Jahresamplitude mehr vom Maximum als vom Minimum beeinflußt wird; denn da bei gleichmäßiger Verteilung der Niederschläge über das ganze Jahr auf einen Monat 100 : 12 oder $8^1/_3$ Prozent entfallen — unter Berücksichtigung der ungleichen Länge der Monate auf einen Monat mit 31 Tagen 8.5 Prozent, auf einen Monat mit 30 Tagen 8.2 Prozent und auf den Februar mit 28 Tagen 7.7 Prozent —, so kann der kleinste Monatswert nur zwischen 0 und (rund) 8 Prozent, der größte aber zwischen (rund) 8 und 100 Prozent schwanken.

Ich habe nun zum ersten Male den Versuch gemacht, auf Grund der Angaben von den obengenannten 976 Stationen eine genauere kartographische Darstellung von der räumlichen Verteilung der mittleren Jahresschwankung des Regenfalls zu geben und in umstehender Karte Linien gleicher Amplitude von 2 zu 2 Prozent gezeichnet. Der Versuch darf als geglückt angesehen werden, insofern Gesetzmäßigkeiten zutage treten, die eine einfache Deutung zulassen und die

[1] Vgl. Hellmann, Die Niederschläge in den norddeutschen Stromgebieten Bd. I S. 86 u. 87.



Eintrittszeit der größten monatlichen Niederschlagsmenge.



Linien gleicher mittlerer Jahresamplitude der Niederschlagsmenge (ausgedrückt in Prozenten der Jahressumme).

zum Teil von vornherein zu erwarten waren. Anfangs schien es freilich, als ob es nicht möglich sein würde, eine solche Karte herzustellen; denn beim Eintragen der 976 Einzelwerte in eine Arbeitskarte großen Maßstabes zeigten sich häufig Unterschiede von 1, bisweilen sogar mehr Prozent bei benachbarten Stationen. Die großen Gesetzmäßigkeiten traten aber doch bald klar zutage. Und wenn man sich überlegt, daß einerseits eine ungenaue Messung des Schnees — ein Fehler, der häufig begangen wird — das Minimum der Niederschlagsmenge im Februar, wohl auch noch im März, herabdrücken kann, und daß anderseits die schon mehrfach genannten Gewitterregen selbst die mittleren Monatsmaxima benachbarter Stationen beeinflussen können, so wird man es verständlich finden, daß die Jahresamplitude der Niederschlagsmenge einen weit lokaleren Charakter aufweist als die der Temperatur.

Die Karte läßt folgende Gesetzmäßigkeiten erkennen.

Die Jahresschwankung des Regenfalls nimmt im allgemeinen von Osten nach Westen ab, von rund 12 Prozent in Posen und Schlesien, bis zu 3.5 am Niederrhein und an der holländischen Grenze. Die größten Werte (12.5) finden sich im Grenzgebiet zu Österreich-Schlesien und in der Ebene südöstlich vom Zobten.

Die maritime Lage bewirkt durchaus nicht immer eine Abschwächung der Jahresamplitude. Im Gegenteil weisen die Gebiete der Herbstregen an der jütischen Küste sowie die Augustregen an der mecklenburgischen und hinterpommerschen Küste eine strengere Periodizität auf als die Niederschläge des anstoßenden Binnenlandes.

Mit zunehmender Höhe über dem Meeresspiegel nimmt die Schwankung rasch ab. Schon bei kleinen Erhebungen, wie den Höhen von Löbau und dem Plateau von Trunz in Westpreußen, macht sich die Abnahme deutlich bemerkbar. In den höheren Gebirgen Westdeutschlands aber sinkt die Jahresamplitude bis auf 2—3 Prozent herab, so daß hier die Verteilung der Niederschläge auf die Monate bereits eine ziemlich gleichmäßige ist.

Auf der Leeseite der Gebirge ist die Schwankung besonders groß. Man sieht auf der Karte, wie beim Riesengebirge und beim Harz die Gebiete großer Schwankung zungenförmig sich an der Ostseite hinziehen und wie das ebene Rheinland im Lee des Hohen Venn und der Eifel ein kleines Maximalgebiet von 8—10 Prozent aufweist, während am Niederrhein die Schwankung nur 3.2 bis 3.5 Prozent beträgt.

Eine neue Inschrift aus Hermonthis.

Von H. O. Lange
in Kopenhagen.

(Vorgelegt von Hrn. Erman am 30. Juli 1914 [s. oben S. 869].)

Hierzu Taf. IV.

Im Jahre 1896 hatte ich in der ÄZ. (34, 25—34, Taf. 2) zwei Inschriften aus der 11. Dynastie, die beide aus Hermonthis stammen, herausgegeben. Die eine befindet sich in der Glyptothek in Kopenhagen, die andere im Berliner Museum. Ich zweifle jetzt nicht daran, daß beide Inschriften demselben Grab entstammen, dem des Fürsten , geboren von . Der Anfang von Z. 11 der Kopenhagener Inschrift wird einfach für *ms n mjjt*, wie konsequent in der vorliegenden Inschrift, zu ergänzen sein.

Zu meiner großen Überraschung fand ich in der neuen Publikation des British Museum: Hieroglyphic Texts from Egyptian Stelae, &c. in the British Museum, Part 1, 1911 auf Taf. 55 eine neue Inschrift aus demselben Grab, und diese ist entschieden die merkwürdigste von den dreien. In dem begleitenden Text (S. 17) weiß der Herausgeber, der jetzt verstorbene P. D. Scott-Moncrieff, nichts weiter von dieser Inschrift zu sagen als: The hieroglyphs themselves are clear, but the meaning of the text is obscure. Dieser Mangel an Verständnis des ganz einzigartigen Inhalts dieser Inschrift hängt zum Teil gewiß damit zusammen, daß er die Inschrift sehr unvollkommen gelesen hat; er hat mehrere Zeichen ganz verkannt und andere nicht gelesen. Der Text, wie er ihn gibt, ist allerdings an einer Reihe von Stellen ganz hoffnungslos, aber trotzdem konnte ich doch den interessanten Inhalt im allgemeinen genau bestimmen.

An eine wirkliche Bearbeitung der einzigartigen Inschrift wäre indessen auf Grundlage der Abschrift des Hrn. Scott-Moncrieff nicht zu denken, und die vorliegende Bearbeitung ist nur durch das Entgegenkommen des Hrn. Dr. E. A. W. Budge möglich geworden, der mir mit großer Liebenswürdigkeit erlaubte, eine große Photographie

von der Inschrift machen zu lassen. Ich sage ihm dafür an dieser Stelle meinen aufrichtigen Dank.

Die Inschrift und die Darstellung sind ganz in demselben Stil wie die Stele in Berlin (ÄZ. 34, Taf. 2) ausgeführt. Der stehende Mann rechts hat ganz dieselbe Perücke, denselben Halskragen und dieselben Armbänder wie die sitzende Figur der Berliner Stele. Die Hieroglyphen sind gut ausgeführt, aber weisen verschiedene für die Inschriften der 11. Dynastie charakteristische Formen auf. Eine genaue Wiedergabe in Drucktypen läßt sich nicht geben. Bei der schlechten Erhaltung der Inschrift wäre eine mechanische Reproduktion der Photographie nicht lesbar gewesen; ich gebe sie deshalb in einer Skizze, bei der aber alles, was nicht zur Verdeutlichung der Inschrift dient, weggelassen ist.

Obgleich ich hoffe, einen zuverlässigen Text hergestellt zu haben, sind mehrere Stellen doch unverständlich geblieben, was mit dem einzigartigen Charakter der Inschrift zusammenhängt.

Nach der Unterschrift, die die Inschrift im Britischen Museum trägt, soll sie aus Qurna stammen. Diese Angabe ist aber in der Publikation nicht wiederholt und kann auch gegenüber den inneren Beweisgründen für den Zusammenhang mit den beiden Hermonthis-Inschriften nicht aufrechterhalten werden. Sie ist wohl nur von einem thebanischen Händler erworben, aber den Angaben solcher ist ja in den seltensten Fällen zu trauen.

Darstellung.

Rechts ein Mann, der vor einem kleinen Opfertisch steht. In der rechten Hand hält er den langen Stab, in der herabhängenden linken das Zepter . Große Perücke, Halskragen, Armbänder, weiter Knieschurz. Vor dem Gesicht eine Zeile: . Vor ihm, ganz klein, ein Mann stehend nach r. In der vorgestreckten L. eine Salbenbüchse, in der herabhängenden R. einen verwischten Gegenstand, den er an einer Schnur oder an einem Henkel hält. Große Perücke, enger Knieschurz. Vor dem Gesicht: .

Inschrift.

Der 14 Zeilen lange Text zerfällt in drei Abschnitte; im ersten rühmt der Verstorbene seine Güte und seinen Reichtum, der zweite enthält die Totenformel in altertümlicher, erweiterter Gestalt, der letzte berichtet von den Verträgen, die *'Intf* mit seinem Ka-Priester und seinem Vorlesepriester geschlossen hatte.

I.

Die Titel des Verstorbenen stimmen genau mit denen der Berliner Inschrift überein: die Kopenhagener schreibt und läßt aus.

»mit festem Fuß« auch Louvre C 1, 13, Brit. Mus. 197 (581) (Hierogl. Texts II, 23), Stele in Univ. College (P. S. B. A. 1896, Nov.); hier wird dieser Ausdruck in übertragener Bedeutung irgendeine Charaktereigenschaft bezeichnen.

ist mir sonst nie in Inschriften aus dem mittleren Reich begegnet. Ich kenne diesen Ausdruck nur aus der Inschrift des Amenhotep, Sohnes des Hapi (Kairo, Statue 583), Z. 11: »der den Plänen des Königs folgt«. Im mittleren Reich findet man öfters , z. B. Louvre C 174 (Gayet, Pl. 30), Brit. Mus. 197 (581), Stele Univ. College Z. 4—5: Seine Majestät macht dies seinem Diener »wegen seiner Treue«.

[1] Unter fehlt nichts.

[2] deutlich.

[3] Nach ein Loch im Stein, das wie ⊙ aussieht, doch zu unregelmäßig geformt, um dies Zeichen darzustellen.

[4] Nach steht ein Zeichen, das Scott-Moncrieff nicht gelesen hat, man erwartet den vordersten Pluralstrich.

[5] Das Zeichen ist eigentlich unten abgerundet.

[6] Vor , unmittelbar vor , scheint ein schlecht geratenes ⊙ zu stehen, das durch einen Sprung im Stein das folgende Zeichen berührt; wahrscheinlich nur ein Sprung im Stein.

[7] ist sicher.

[8] Unter ein langes Zeichen, man glaubt Spuren von zu sehen.

šši für *šsi*, über diese Umstellung vgl. Sethe, Verbum I, § 275. Die Bedeutung ist »geschickt sein«, aber gewöhnlich kommt das Wort in der Verbindung *šši ḥr* vor (Sethe, Urk. IV, 118 = 1222, IV, 1017) oder näher bestimmt durch einen präpositionalen Ausdruck, z. B. [Hieroglyphen] Ann. de la Serv. III, 267; [Hieroglyphen] Stele Beka, Turin (Chabas, Œuvres V, pl. 6).

[Hieroglyphen] kenne ich nur aus der Kopenhagener Stele Z. 4 und Brit. Mus. 96 (159), Z. 7 (Hierogl. Texts I, 47). Wahrscheinlich dieselbe Wurzel wie im Völkernamen [Hieroglyphen] (Naville, Totb. 125, Schlußrede, 23); dieser kommt schon in Lacau, Textes relig. ch. 74, 4, vor: mein Schrecken ist im Himmel, mein Schwert ist in den Herzen der [Hieroglyphen].

[Hieroglyphen] ein seltenes Wort, etwa »Vertrauter, Freund«. Folgende Stellen sind mir bekannt: Stele des *Mnṭw-wsr*, New York ed. Ransom 1913, Z. 11: ich war der Vater des armen [Hieroglyphen]; Brit. Mus. 197 (581), Z. 17 [Hieroglyphen]; Kairo-Stele 20507, Z. 3: [Hieroglyphen] »ich verursachte, daß die Großen mich liebten und die Kleinen mir freundlich waren; Totb. 125, Schluß 15: [Hieroglyphen]; Leidener Stele V, 4, Z. 8—9 kommt dasselbe Wort vor in einer mir unverständlichen Verbindung. Pap. Leid. 344, 6, 4 (Gardiner, Admonitions S. 46) und Sethe, Urk. IV, 12 liegt ein anderes Wort vor. Das Verbum [Hieroglyphen], Pyr. 892 b, scheint eine üble Handlung zu bezeichnen.

[Hieroglyphen], ein in dieser Verbindung ungewöhnliches Wort für [Hieroglyphen] »alt«. Es kommt z. B. Prisse 4, 2; Sinuhe 190, 258; Westcar 7, 14; Sethe, Urk. IV, 58 und 64 vor.

Der folgende Passus bleibt unklar, obgleich die Wörter alle bekannt sind. Er scheint sagen zu wollen, daß er ein Wohltäter gegen die Kleinen war; aber was soll *m trw-f ḏśf* sagen? Ob er in eigener Person, nicht durch seine Diener, den Kleinen, wenn er ihnen begegnete, »bei eintretenden Gelegenheiten« Geschenke gab? [Hieroglyphen] ist hier *tr*, nicht *rnpt*, zu lesen.

Im folgenden schildert er seinen großen Reichtum. Kairo-Stele 20011 b gibt eine parallele Aufrechnung der Reichtümer des Verstorbenen, ebenso mit *iw ir-n-j* eingeleitet; vgl. auch Siut I, 247.

außer Kairo 20011 auch Kairo 20001, b, 4. Wenn hier nicht die drei Pluralstriche stehen, weiß ich nicht, was mit den beiden Strichen zu machen ist.

ist wohl als aufzufassen. Dies Wort wird von Kornhaufen, Piehl, Inscr. I, 125, Pierret, Inscr. du Louvre I. 97, gebraucht, von Weihrauchhaufen, Sethe, Urk. IV, 329, öfters bedeutet es im allgemeinen »Reichtum«, z. B. Kairo-Stele 20543, 19 , Siut I, 247, Lebensmüder 33, Chnumhotep (Benihasan), Z. 80 bis 81. — Das Determinativ ○ kenne ich sonst nicht bei diesem Wort, und es wäre wohl möglich, daß (unten abgerundet, siehe Bemerkung zur Lesung) ein Brot darstellt; doch scheint »Brote des Schatzhauses« keinen so guten Sinn zu geben wie »Reichtümer des Schatzhauses«. Auch Siut I, 247 wird zusammen mit Vieh, Korn und Kleidern genannt. bedeutet wohl »Palmenfrüchte«.

Das Folgende ist unverständlich; wahrscheinlich ist der Text verderbt, das Zeichen unter ist das Vorderbein, liegend, es vertritt wohl hier den Vorderschenkel *ḫpš* »von dem, was meine eigene Kraft verschaffte«, ○ steht wohl für ⊙, den Gott Rê; das Zeichen unter fasse ich als *mnḫ* auf, ist wohl Fehler für ; man könnte dann übersetzen: »und von dem, was Rê, mein vollkommener Herr, wegen der Größe seiner Liebe zu mir, mir bereitete«. bleibt dennoch unverständlich. Der Strich über könnte vielleicht als ein □ gedeutet werden, aber ohne Determinativ nach *ʿpr* wäre höchst sonderbar, und der Sinn: »zu meiner Ausstattung« wäre gesucht. Auch wird □ in dieser Inschrift sonst besonders breit gemacht. Das Folgende wäre dann natürlich nicht von *ʿpr* abhängig, sondern von *iw ir-n-j* als ein nähere Angabe der Quellen seines Reichtums. Die ganze Verbindung bleibt aber ganz dunkel.

II.

Die sehr ausführliche Opferformel ist von einem Typus, der auf Stelen der 11. Dynastie nicht selten ist. Es kommen hier eine Reihe von seltenen Wörtern vor, deren Erklärung vorläufig ziemlich schwierig ist. Auch hier scheint der Text an einigen Stellen verderbt zu sein, und die Lücken können nicht alle ausgefüllt werden.

4. *tꜣ wꜥb n pr mnḫw* auch Stele des *Ttj*, Brit. Mus. (Hierogl. Texts I, 49—50), Z. 16 und Stele 4071 aus der Sammlung Golenischeff im Museum in Moskau, Z. 2, wo auch wie hier folgt. Brit. Mus., Stele 96 (156) (Hierogl. Texts I, 47), Z. 2 finden

[1] So wird in der Lücke gestanden haben.

[2] deutlich, vom übrigen keine sicheren Spuren.

[3] Von sieht man noch den Oberteil, der wie ein geformt ist; die übrigen Zeichen in der Lücke glaubt man in schwachen Spuren zu sehen.

[4] ist sicher.

[5] Von sieht man nur undeutlich den Oberteil, vielleicht steht das Zeichen ein wenig schräg.

[6] Kaum anders zu deuten, das Zeichen ist ziemlich flach gemacht.

[7] Die Pluralstriche sehr undeutlich.

[8] sieht hier beinahe wie ein kurzes aus; ist sicher.

[9] ist ganz sicher.

wir die ähnliche Verbindung . Kairo-Stele 20514, 2 steht

steht auch Wiener Stele 10 (Rec. d. Tr. 9, 33).

Für [ ] hat Moncrieff gelesen; so steht sicher nicht. Ich möchte vorschlagen, die Lücke anders auszufüllen. Man vermißt in dieser Aufrechnung , was sonst nie fehlt; wird das erste Zeichen dieses Wortes gewesen sein. Indessen hat sicher noch mehr in der Lücke gestanden, etwa , wie Stele des *'Intf*, Kopenhagen (Rec. d. Tr. 1, 133—34), , Stele Turin (Piehl, Inscr. I, Pl. 82 A), , München, Glyptothek, Stele 33, 3, , Stele Golenischeff Z. 2. Raum für die volle Schreibung des Wortes *ḥ3mt* ist freilich nicht vorhanden, aber es wird z. B. Brit. Mus. 207 (193) (Hierogl. Texts II, 33) geschrieben. Den Ausdruck *ḥkt ḥ3mt nt nb 3bdw* kann ich sonst nicht belegen, aber man vergleiche *ḥkt ḥ3mt dfȝw nw nb 3bdw* auf den angeführten Stelen in Kopenhagen und in der Sammlung Golenischeff, auch Brit. Mus. 96 (159) (Hierogl. Texts I, 47).

Das Folgende läßt sich mit ziemlicher Sicherheit rekonstruieren; es ist nur zweifelhaft, ob dasteht oder nicht vielmehr *bnr-t*. ist öfters von gefolgt, wie München, Glyptothek, Stele 33, 3, von , wie Stele Turin (Piehl, Inscr. I, pl. 82 A) oder von , wie Brit. Mus. 207 (194). Auf der anderen Seite finden wir München, Glyptothek, Stele 33, 4: . Auf der angeführten Turiner Stele steht . Für die Lesung spricht dagegen Louvre C, 14, 5: .

Die Bedeutung dieser Wörter steht nicht fest. Art von Kuchen, Ebers 11, 1—2 und öfters. Die Dualstriche sind richtig, das folgende *mḥr* ist ja auch Dualis. *šnś* als Opfergabe auch Brit. Mus. 96 (159).

steht ziemlich deutlich da. Es ist wohl ein Getränk, mit dem Präfix , von der Wurzel *ḥr* »zufrieden, ruhig sein« ge-

bildet, die Bedeutung »Beruhigungsgetränk« würde naheliegen. Es kommt parallel mit *šnš* wie hier vor, auch Brit. Mus. 96 (159), Z. 2, und im Grab des Paher in Elkab (ed. Egypt. Expl. Fund) Taf. 4 steht: . *mhr* ist sicher nicht ein Maß, denn Brit. Mus. 96 (159) steht , und *dwjw* ist ein Maß für Bier (s. Westcar 4, 15).

Was dann folgt, ist mir leider unverständlich. Vor erwartet man *pr m*, vgl. Louvre C, 3, 16: , Chnumhotep, Benihasan 25 bis 26 . Es scheint aber dazustehen, kann man als »das auserlesenste« auffassen, vgl. Sethe, Urk. IV, 428: ; Statue des Amenhotep, Sohnes des Hapi, Kairo Z. 13 (Brugsch, Thes. 1296) . Skarabäus der 18. Dyn. (ÄZ. 1880, 82): . Man ist versucht, ohne Emendation usw. zu lesen und zu übersetzen: »das auserlesenste, was den eigenen Mund des Rê öffnet«, aber eine solche Verbindung kenne ich sonst nicht, und sie scheint ziemlich hart und gezwungen.

unter den Opfergaben kommt auch Brit. Mus. 100 (614) (Hierogl. Texts I, 50), Z. 16 vor. Zum Zusatz vgl. Stele Golenischeff Z. 3: .

Die folgende Lücke muß ich unausgefüllt lassen. Man sieht noch den Kopf von .

»Neujahrsopfergaben« kenne ich sonst nicht.

ḥbw nw pt in dieser Aufrechnung von Opfergaben ist sonderbar; ist ganz eigenartig gemacht, aber kaum anders zu deuten, und der Ausdruck ist ja bekannt. Vielleicht ist *ḥbw nw pt ꜥ3bt* in Analogie mit aufzufassen als »Opferspeisen, den Festen des Himmels gehörig«. Eine solche Verbindung ist mir allerdings nie vorgekommen. Nach *ꜥ3bt* steht ein überflüssiges .

In der Aufrechnung der Opfertiere ist zu merken *ꜥwt smt* »Wild der Wüste«.

, ein Ausdruck, der in den Stelen dieser Zeit öfters vorkommt: Turiner Stele (Piehl, Inscr. I, Pl. 82 A) ,

ebenso Kairo-Stele 20514, 2, Kopenhagener Stele des *'Intf* (Rec. d. Tr. I, 133—134), Louvre C, 14, 4, vgl. München, Glyptothek 33, 3, Stele Golenischeff Z. 2.

Maß für Bier, zur Dualisform vgl. Z. 5 Kairo 20514:

dfзw, das Determinativ ungewöhnlich bei diesem Wort.

nb kзw Bezeichnung für Osiris; man findet sonst häufig den Ausdruck *dfзw nw nb зbdw*: Kopenhagener Stele (Rec. d. Tr. I, 133—134); Stele Golenischeff Z. 2—3; Brit. Mus. 96 (159), Z. 2—3; Brit. Mus. 100 (614) (Hierogl. Texts I, 50), Z. 16; Louvre C, 14, 4—5.

mrrt зḫw wnm im »wovon die Geister zu essen lieben«, Louvre C, 14, 5; Brit. Mus. 100 (614), Z. 16; München, Glyptothek 33, 6—7; Stele Golenischeff Z. 3.

IIIA.

Der jetzt folgende Abschnitt, dessen einzigartiges Interesse von Moncrieff gar nicht erkannt ist, und in welchem der Verstorbene über seine Verträge mit den Totenpriestern berichtet, enthält leider auch dunkle Stellen, vor denen man machtlos steht.

[1] Das -Zeichen sieht wie in aus.

[2] ist schräg gestellt. Wahrscheinlich ein ganz anderes Zeichen.

[3] So wird das Zeichen wohl zu deuten sein.

[4] Unter ist etwas ausgehackt, vielleicht | |.

[5] Die beiden Zeichen sind umgestellt.

7. [hieroglyphs], man erwacht *dd-f*, aber so ohne *f*, wenn der Name unmittelbar vorhergeht, auch Brit. Mus. 96 (159), Z. 3, Brit. Mus. 99 (1203) (Hierogl. Texts I, 53), Z. 2.

[hieroglyphs] *ḥtm*, voll ausgeschrieben in Z. 9. Die Konstruktion des Verbums ist hier sonderbar. Während Siut I, 269 die Person durch die Präposition [hieroglyphs] mit dem Verbum verbunden wird: [hieroglyphs], wird die Person hier als direktes Objekt angeknüpft. Der Zweck des Vertrags wird Z. 9 durch [hieroglyph] mit Infinitiv angegeben, hier durch Infinitiv ohne Präposition. Vielleicht ist [hieroglyph] hier übersprungen.

Der Ka-Priester wird durch seinen Namen und die seines Vaters und seines Großvaters bezeichnet. Der Name des Großvaters steht zuerst, wie das auch sonst in den älteren Zeiten des mittleren Reichs vorkommt. Der Name des Vaters ist mir ein Rätsel, er steckt in den drei Zeichen [hieroglyphs] und dem schiefstehenden [hieroglyph].

Die Pflicht des Ka-Priesters wird als »mit Wasser sprengen und kühles Wasser ausgießen« bestimmt. In [hieroglyphs] könnte [hieroglyph] auch Determinativ sein wie Pap. Millingen I, 8—9 in einer unverständlichen Stelle. Doch scheint [hieroglyph] sonst als Objekt zum Verbum zu stehen, z. B. PIEHL, Inscr. I, 112 (18. Dyn.), Mém. de la Miss. du Caire I, 122, Z. 5 (18. Dyn.), SETHE, Urk. I, 75, 10 (a. R.); Pap. Leid. 344, VII, 4—5; Brit. Mus. 128 (152) (Hierogl. Texts II, 34), Z. 5.

Es folgen dann zwei Nominalsätze: indem der *mḫwnw* ihm seine Hand reicht und der *ḫnt-wr* den Opferkuchen und die Wasserkanne hält.

Das Verbum [hieroglyphs] wird auch Berliner Stele 1199 (Ägypt. Inschr. aus d. Kgl. Mus. III, 165) in der Bedeutung »darreichen« gebraucht: [hieroglyphs]. Auch Pyr. 1141c, 1143c, Siut I, 297—98, Westcar 8, 1, SETHE, Urk. IV, 498; die Infinitivform LACAU, Textes relig. ch. 34, 5—6.

[hieroglyphs] ist ein Fehler für [hieroglyphs]; in dieser Weise werden [hieroglyphs] und [hieroglyphs] auch zusammengestellt in einem Fragment, Berlin 1153 (Aeg. Inscr. III, 156).

Den *mḫwnw* kenne ich sonst nur aus einem Passus der abydenischen Formel: [hieroglyphs] Brit. Mus. 150 (567) (Hierogl. Texts II, 5), Z. 14—15; Louvre C, 3, 19; Brit. Mus. 156 (573) (Hierogl. Texts II, 6), Z. 11 (*mḫwn* determiniert

mit [hieroglyph]); Leiden V, 4, 12: *ms n-f mḥwnw* [hieroglyphs]. Es ist aus unserer Stelle deutlich, daß der *mḥwnw* ein Gehilfe bei den Totenopfern ist.

Den *ḫnt-wr* kenne ich sonst nicht. Er ist wohl ein anderer Gehilfe bei den Totenopfern.

[hieroglyphs] wird ein Partizipium sein, es geht wohl auf alle drei genannten Offizianten zurück, »indem sie herausgehen, um damit vor meiner Statue Libationen und Opfer zu bringen«.

In [hieroglyphs] steckt wohl ein Fehler für [hieroglyphs], Pyr. 1011a, München, Glyptothek, Stele 33, 4, Kairo 20009, derselbe Stamm als [hieroglyphs] »Libationstafel« *Wnt* Z. 7 (Pluralis ib. Z. 39).

drp wird öfters mit direktem Objekt konstruiert und bedeutet dann »ernähren«. Vom Spenden der Opfergaben vor der Statue des Verstorbenen [hieroglyphs], Sethe, Urk. IV, 1185, konstruiert mit [hieroglyph] wie hier, Kairo 20003, 3; Mém. de l'Inst. du Caire V, 284; Mém. de l'Inst. du Caire I, 122, Z. 5; das Verbum kommt auch Lebensmüder Z. 53 vor. *drp ḥr* kommt Sethe, Urk. IV, 470 vor.

Um den Vorlesepriester genau zu bezeichnen, werden vier Generationen genannt; die Namen sind alle gewöhnlich. Der Zweck des Vertrages wird hier richtig mit [hieroglyph] angegeben. Die Pflichten des Vorlesepriesters sind teils »die Zeremonien im Grab auszuführen« und teils »die Litanei dem [hieroglyphs] zu rezitieren«.

šdt ḥbt »die Litanei zu rezitieren« kommt Totb. 1, 20 vor. [hieroglyphs] steht schon Pyr. 1961b in einer unklaren Verbindung. [hieroglyphs] Grab Aba, Mém. de Caire V, Pl. 6. [hieroglyphs] Sethe, Urk. IV, 16 und 64 ist dasselbe Wort. Der [hieroglyphs], dessen Handlung der [hieroglyphs] mit seinem Rezitieren begleiten soll, ist wohl der Ka-Priester; es ist ein Dativ, es kann wegen des maskulinen Genitivexponenten nicht Genitiv sein.

n mrwt so determiniert auch Louvre C, 15, 5. Wenn der Verstorbene den Ausdruck [hieroglyphs] »bis heute« gebraucht, so stellt er sich auf den Standpunkt der Leser zu allen Zeiten.

IIIB.

Der letzte Abschnitt handelt vom Lohn, den der Verstorbene den beiden Priestern gegeben hat.

Was durch im Unterschied von bezeichnet werden soll, weiß ich nicht.

Schwierig ist der Satz *rdj n-f šꜥ* usw.; die Verbindung mit dem vorigen ist unklar. Ist ein Partizipium »ihm erlaubend«? Oder kann ein Indikativ *rdj-i* im Nebensatz so stehen nach *iw rdj-n-i* »indem ich zugleich ihm erlaubte«?

, vom Abschneiden von Pflanzen *Wni* 24—25, vom Mähen des Korns, Mereruka A 13 Ostwand; vgl. Mar. Mast. D. 60 .

Das Wort vor *ḥꜣt* verstehe ich nicht, auch die Lesung ist unsicher; es steckt wohl hier ein Flächenmaß.

iwḥ wird von der künstlichen Bewässerung gebraucht Der Rifeh VII, 23. Hier wird es wohl »ein Acker vom bewässerten Boden« bedeuten.

Auf Grund der voranstehenden Analyse wird sich die Übersetzung des ganzen Textes nun ungefähr so gestalten:

I.

1 Der Erbfürst, Schatzmeister, einziger Freund, Vorlesepriester und Oberpriester *'Intf*, geboren von *Mjjt*, sagt: Ich war einer mit festem Fuß, ein den Plänen Treuer, ein Kenntnisreicher, ein Geschickter, ein . . . . ., ein Vertrauter der Großen, der die Alten bestattete, 2 der persönlich den Kleinen, wenn ihm Gelegenheit gegeben wurde, Geschenke gab.

Ich sammelte (mir) Ochsen, Ziegen, Kleider, Reichtümer des Schatzhauses und Palmenfrüchte, teils von dem, was meine eigene Kraft ver-

---

[1] Ob vielleicht ein hieratisches Zahlzeichen? Oder ein Flächenmaß?

schaffte, teils von dem, was Re, mein vollkommener Herr, wegen der Größe seiner Liebe zu mir, mir bereitete.

II.

Eine königliche Opfergabe an Osiris, Herr von Busiris, den Ersten derer im Westen, den Herrn von Abydos, ein Opfermahl aus Tausenden von Broten, Krügen, Ochsen, Vögeln, Kleidern, von allen guten reinen Sachen, reines Brot vom Tempel des Month, Opferspeisen im Tempel des Osiris, . . . Bier des Herrn von Abydos, saure Milch . . . . ., zwei Opferkuchen, zwei *mhr*-Getränke, das Auserlesenste, was den eigenen Mund des Re öffnet, das kühle Wasser jedes Gottes aus den reinen . . ., Opfergaben für das neue Jahr, Opferspeisen des Herrn der Götter an den Festen des Himmels, Ochsen, Rinder, Wild der Wüste, *dꜣt*-Vögel, *rꜣ*-Vögel, Geflügel, Brot . . . ., Bier, zwei Krüge, Nahrung des Herrn der Nahrung, wovon die Geister zu essen lieben — dem ehrwürdigen *ꜣIntf*, geboren von *Mjjt*.

III A.

Er sagt: Ich habe einen Vertrag mit dem Ka-Priester *Nḫtjw*, Sohn des . . ., Sohnes des *Nḫtw*, gemacht, um (mir) Wasser zu sprengen und kühles Wasser auszugießen, während der *mḥwnw* ihm seine Hand reicht und der *ḫnt-wr* den Opferkuchen und den Krug hält, indem sie (alle drei) herausgehen, um damit vor meiner Statue Libationen und Opfer zu bringen täglich.

Ich habe auch einen Vertrag mit dem Vorlesepriester *ꜣIntf*, Sohn des *Mnṯwnśw*, Sohnes des *ꜣIntf*, Sohnes des *Ṯtw* gemacht, um die Zeremonien im Grab zu vollführen und um die Festlitanei dem (Ka-) Priester zu rezitieren an den Monats- und Halbmonatsfesten, damit mein Name schön sei und meine Erinnerung bis heute bleibe, und um den Tempel dieses vorzüglichen Verklärten zu vervollkommnen.

III B.

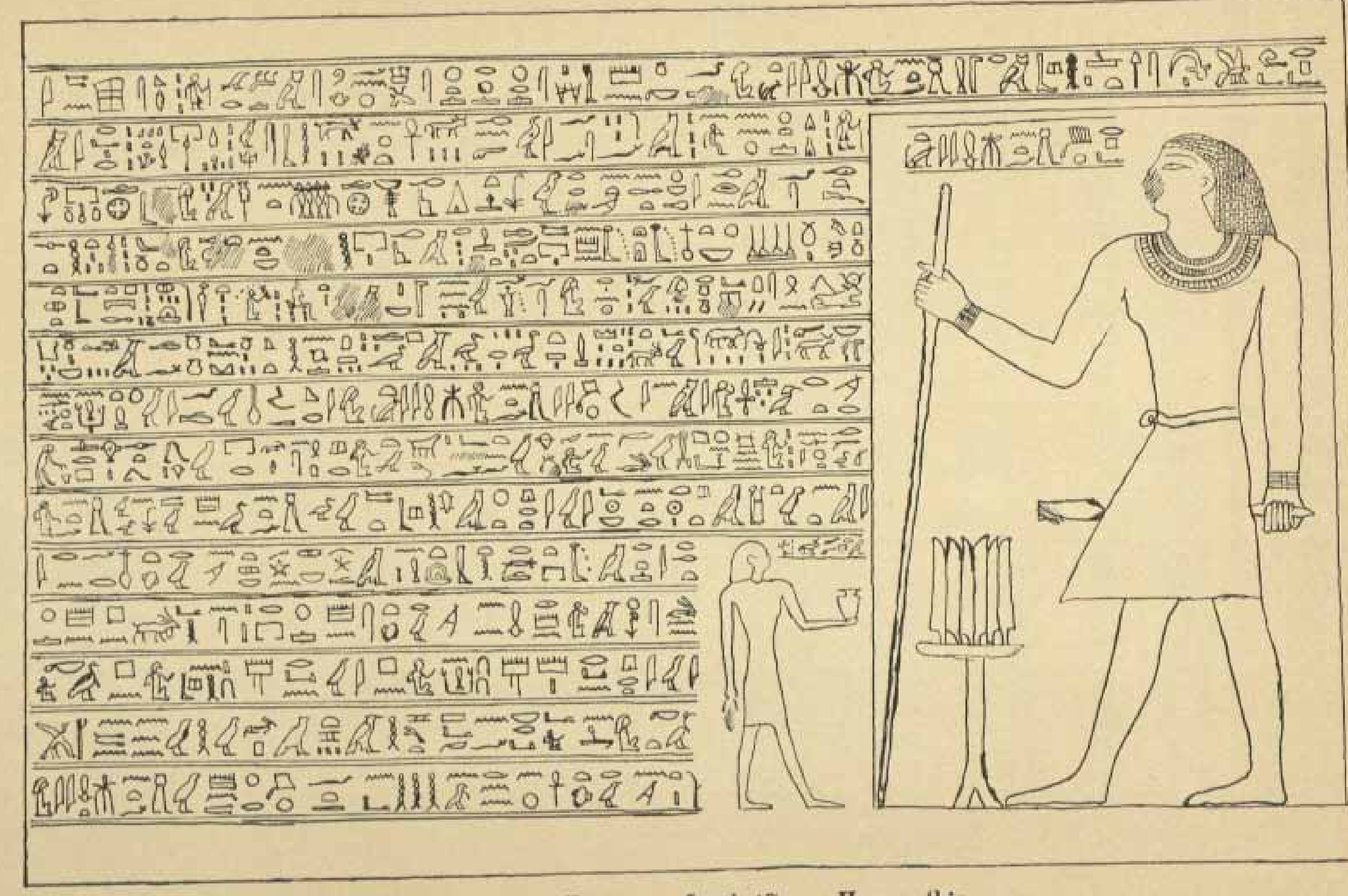
Ich habe aber zwanzig Kleider diesem Ka-Priester gegeben, und ich habe diesem Vorlesepriester zehn Kleider gegeben und jedem einen Sklaven und eine Sklavin; indem ich ihm (jedem) erlaubte, . . . Maß Acker vom bewässerten Boden jedes Jahr zu ernten, damit mein Name beständig und ewig lebe. Der ehrwürdige bei Month *ꜣIntf*, geboren von *Mjjt*.

Die hier behandelte, höchst interessante Inschrift gehört in ihrem Hauptteile zu den seltenen Kontraktinschriften, die sich auf den Toten-

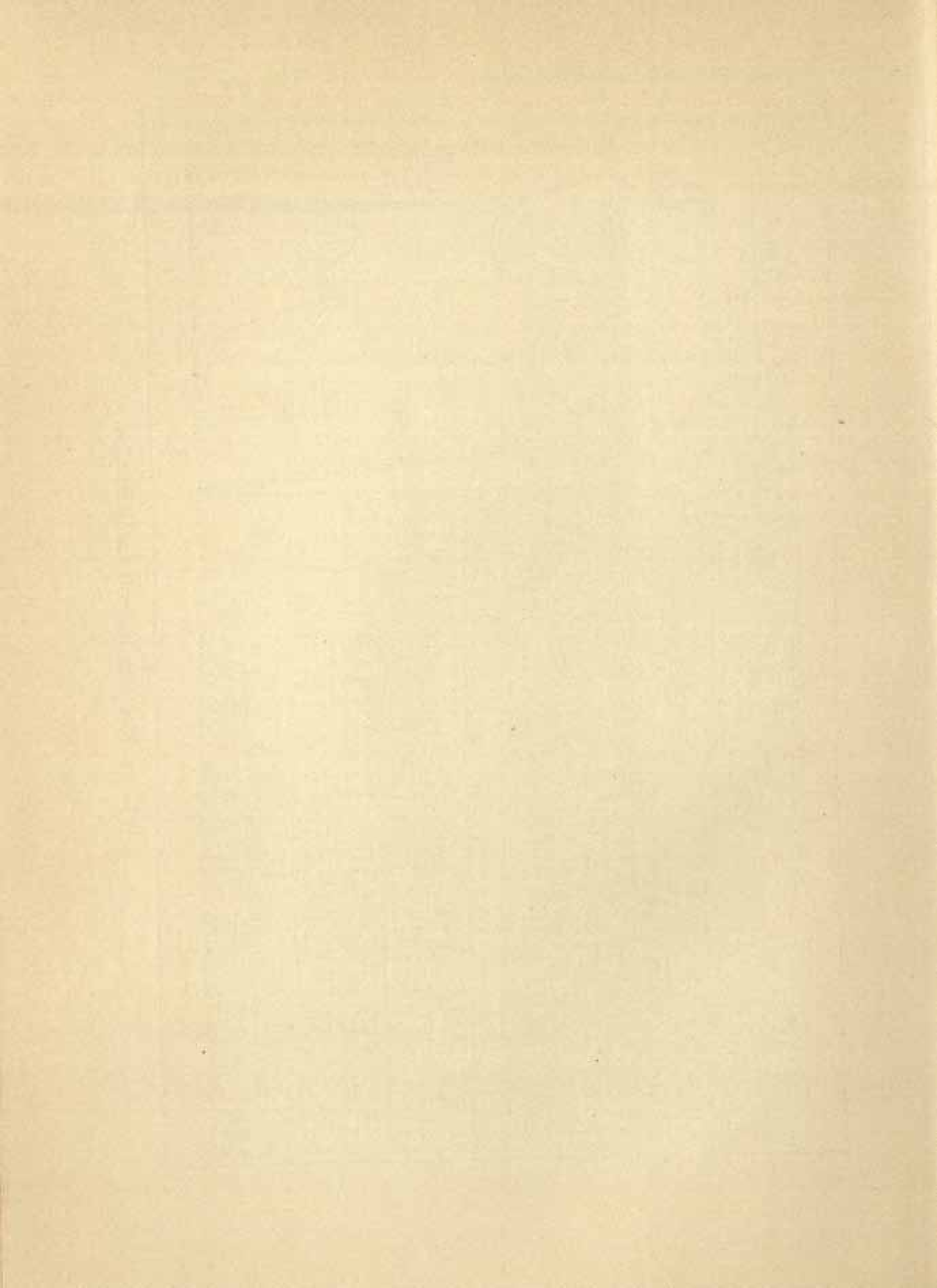
dienst beziehen und von denen die zehn Verträge im Grabe des *Ḥpḏfˀj* in Siut bisher die einzigen vollständigen Beispiele sind. Ein Fragment eines Kontraktes haben wir Berlin 8815 (Ägypt. Inschr. d. Kgl. Mus. III, 160) aus dem frühen mittleren Reich. Ein ganz kurzer Vertrag aus der 12. Dynastie kommt auf der Stele Louvre C, 34 vor; es wird nur der Lohn erwähnt, der Text ist ziemlich unverständlich. Aus dem alten Reiche haben wir die Stiftungsurkunden für den Totenkult, Sethe, Urk. I, 29—30, 35, 36—37, und die große, aber leider sehr zerstörte Inschrift ebenda 11—15. Unsere Inschrift ergänzt in sehr willkommener Weise die Aufschlüsse über den Totendienst, die die Siutverträge uns geben und bringt ganz neue Daten zum Verständnis dieser ganzen Institution.

Ausgegeben am 12. November.

Berlin, gedruckt in der Reichsdruckerei



H. O. Lange: Eine neue Inschrift aus Hermonthis.



1914.
XXXIX.

SITZUNGSBERICHTE

DER

KÖNIGLICH PREUSSISCHEN

AKADEMIE DER WISSENSCHAFTEN.

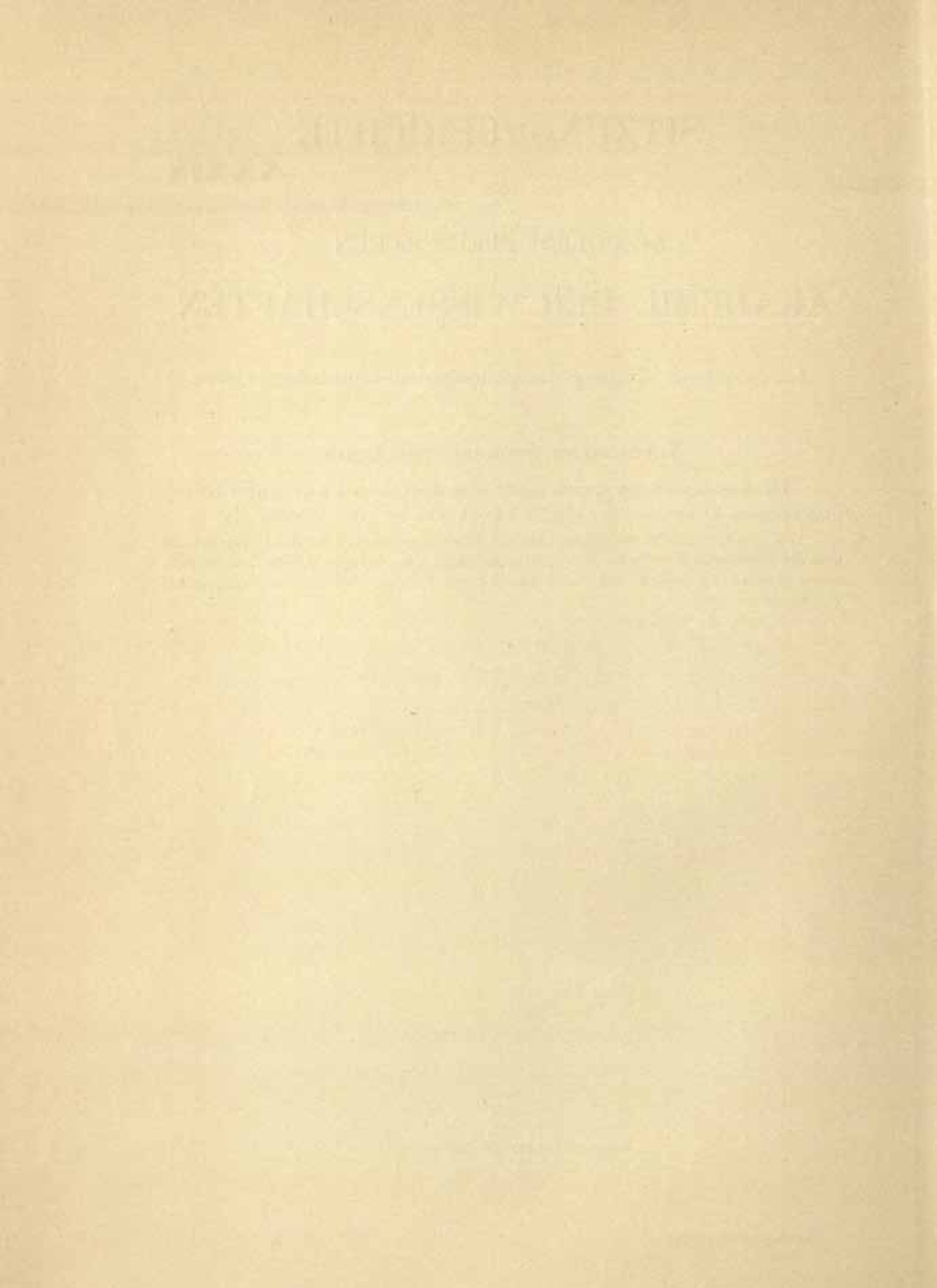
12. November. Sitzung der philosophisch-historischen Classe.

Vorsitzender Secretar: Hr. Diels.

*Hr. Eduard Meyer sprach über den Zweiten Punischen Krieg und speziell über die Persönlichkeit des Scipio Africanus.

Es wurde versucht zu zeigen, wie die Überlieferung über Scipios Persönlichkeit und die Ansicht, daß er unter übernatürlicher Inspiration gehandelt habe, aus literarischen Motiven entstanden und durch Laelius und Polybios rationalistisch umgestaltet worden ist.

Ausgegeben am 19. November.



1914.
XL.

SITZUNGSBERICHTE

DER

KÖNIGLICH PREUSSISCHEN

AKADEMIE DER WISSENSCHAFTEN.

12. November. Sitzung der physikalisch-mathematischen Classe.

Vorsitzender Secretar: Hr. Planck.

Hr. Orth las: Zur Frage nach den Beziehungen des Alkoholismus zur Tuberkulose.

Der Vortragende wies nach, daß weder die Angabe, in Frankreich sei der Branntweinverbrauch in den einzelnen Departements ausschlaggebend für die Tuberkulosesterblichkeit, noch die andere, die höhere Tuberkulosesterblichkeit der Männer hänge mit dem bei ihnen häufigeren Alkoholismus zusammen, einer eingehenderen Kritik ihrer Grundlagen standhält. Eine kleine Versuchsreihe an Kaninchen hat auch keine Stütze für die Annahme einer begünstigenden Wirkung des Alkohols für Entstehung und Verlauf der Tuberkulose ergeben.

Zur Frage nach den Beziehungen des Alkoholismus zur Tuberkulose.

Von J. Orth.

Angaben, daß Alkoholismus eine Hauptursache der Tuberkulose, insbesondere ihrer Hauptform, der Lungenschwindsucht, sei, lassen sich in der medizinischen Literatur bis in das 18. Jahrhundert hinein auffinden, doch stehen den Vertretern dieser Ansicht, wenn auch vielleicht in geringerer Anzahl, Vertreter der gegenteiligen gegenüber. Hier handelt es sich um die Entstehung der Tuberkulose, und man muß bei der Beurteilung dieser Angaben wohl bedenken, daß erst in den siebziger Jahren des 19. Jahrhunderts die Tuberkulose als Infektionskrankheit sicher erkannt worden ist und daß der Erreger selbst in Gestalt des Tuberkelbazillus noch später, erst im Anfang der achtziger Jahre, entdeckt worden ist. Die einzige wirkliche Ursache (causa efficiens) ist der Kochsche Tuberkelbazillus, beim Alkohol kann es sich also von vornherein nicht um die Hauptursache, sondern nur um eine Hilfsursache handeln.

Aber nicht nur in bezug auf die Entstehung der Tuberkulose, sondern auch in bezug auf ihren Verlauf besteht der gleiche Widerstreit der Meinungen: die einen behaupten, daß der Alkohol den Verlauf beschleunige, andere rühmen diesem im Gegenteil nach, daß er ihren Verlauf verlangsame. Besonders beachtenswert erscheint mir in letzter Beziehung die Angabe des erfahrenen Gerichtsarztes Baer in seinem Buche über den Alkohol, daß er unter den Potatoren der Gefängnisbevölkerung die Lungenschwindsucht als verhältnismäßig seltene und meist sehr langsam verlaufende Krankheit gefunden habe. Selbst wenn man den letzten Umstand der erzwungenen Abstinenz zurechnen will, bleibt es doch höchst auffällig, daß Baer die Tuberkulose verhältnismäßig selten beobachtete, obwohl doch er selbst festgestellt hat, daß unter den wegen verschiedener Verbrechen Verurteilten im Mittel rund 25 Prozent Gewohnheitstrinker sich befinden, die Alkoholisten also in einem so hohen Prozentsatz vertreten sind, daß er über eine genügende Anzahl von Beobachtungen verfügen konnte.

In neuerer Zeit haben sich die statistischen Angaben gehäuft, sowohl darüber, wie viele Alkoholisten an Tuberkulose leiden, als auch darüber, wie viele Alkoholisten unter den Tuberkulösen sich befinden. Wie weit hier die Angaben auseinandergehen, mag man daraus entnehmen, daß Henschen (für Sanatorien und Hospitäler in Schweden) 1.8 Prozent, Wolff 8 Prozent, Liebe 40 bzw. 48.6 Prozent, Jaquet 71.4 Prozent, Callier 90.5 Prozent Alkoholiker unter ihren untersuchten Tuberkulösen festgestellt haben. Alle diese Statistiken sind auf unsicherem Grunde aufgebaut, weil der Begriff Alkoholismus kein feststehender, zahlenmäßig ausdrückbarer ist. Es hat darum jede derartige Statistik etwas Subjektives an sich, und zwar in doppelter Weise: es ist subjektiv, was der ärztliche Nachforscher unter einem Alkoholisten versteht, und subjektiv sind die Angaben der Kranken oder ihrer Angehörigen über den Gebrauch bzw. Mißbrauch alkoholischer Getränke. Man hat deswegen versucht, von einem allgemeineren, von der Person der Kranken unabhängigen Standpunkte aus das Problem zu lösen.

Da hat man zunächst festgestellt, wie es mit den Erkrankungen bzw. Sterbefällen an Tuberkulose bei den sogenannten Alkoholgewerben, also bei allen Gewerben, welche sich mit der Herstellung oder dem Verschleiß alkoholischer Getränke befassen, bestellt ist; es besteht darin allgemeine Übereinstimmung, daß bei den genannten Gewerben die Sterblichkeit eine über das Bevölkerungsmittel mehr oder weniger weit hinausgehende ist und daß unter den Todesursachen bei ihnen die Tuberkulose eine hervorragende Rolle spielt. Da nun wohl mit größter Wahrscheinlichkeit angenommen werden darf, daß unter den genannten Gewerbetreibenden ein regelmäßiger und über das Mittelmaß mindestens oft hinausgehender Alkoholgenuß verbreitet ist, so sind manche Alkoholgegner offenbar geneigt, daraus kurzweg den Schluß zu ziehen, daß es der Alkohol sei, welcher diese Menschen der Tuberkulose in die Arme treibe. Es liegt auf der Hand, daß ein solcher Schluß durchaus unberechtigt wäre, da der Alkoholgenuß ja nur *eine* der besonderen Lebensbedingungen dieser Menschen ist, daß mindestens viele unter ihnen auch noch in anderer Beziehung, so in bezug auf Arbeitsanstrengung, Arbeitsart, Arbeitspausen, Ernährung, Wohnung usf. eine besondere Stellung einnehmen. Henschen hat mit Recht auf dem internationalen Alkohol-Kongreß 1909 hervorgehoben, daß nach unserer heutigen Kenntnis die Disposition zur Tuberkulose von sozialen Mißständen, der Wohnung, Ernährung usw. geliefert wird. Freilich können diese disponierenden Mißstände selbst wieder durch Alkoholismus herbeigeführt worden sein, und für die Begründung einer Antialkoholbewegung ist es natürlich gleichgültig, ob der Alkohol direkt oder indirekt, auf dem Umwege durch soziales Elend die Erkrankungen an Tuberkulose fördert; aber für

die wissenschaftliche Forschung ist das doch nicht gleichgültig, ihre Aufgabe muß es sein, festzustellen, ob und inwieweit der Alkohol als solcher wirkt oder nicht wirkt. Das allein ist der Zweck meiner Untersuchungen, und ich verwahre mich von vornherein dagegen, als wollte ich etwa Waffen schmieden zugunsten des Alkohols. Nichts weniger als das, denn ich möchte dazu beitragen, daß der Kampf gegen den Alkohol, den auch ich für einen gefährlichen Feind der Menschheit halte, auf feste, wissenschaftlich haltbare Grundlagen gestellt wird.

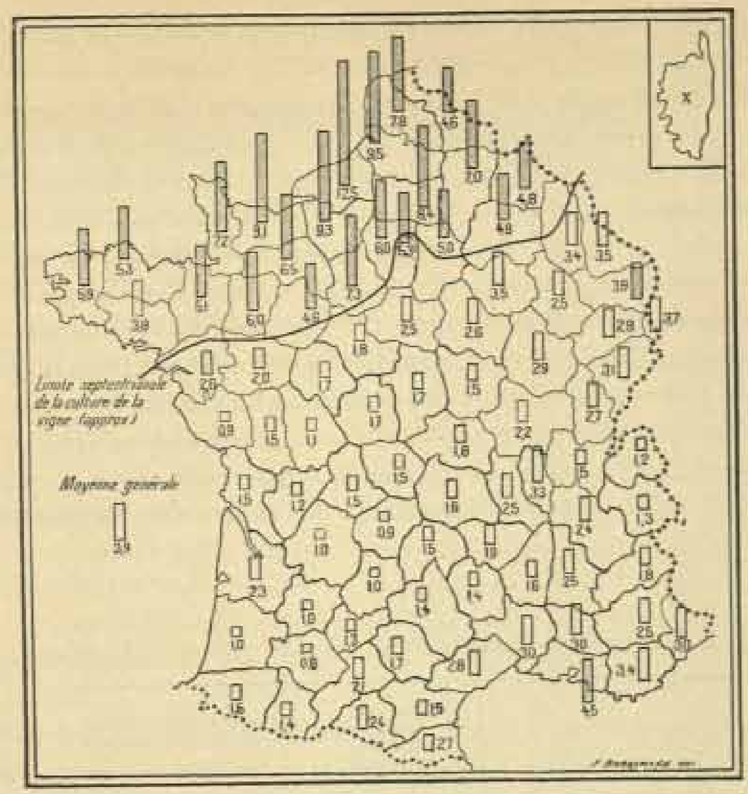
Einige dieser Grundlagen habe ich auf ihre Festigkeit und Zuverlässigkeit geprüft, und darüber will ich nun hier berichten.

I.

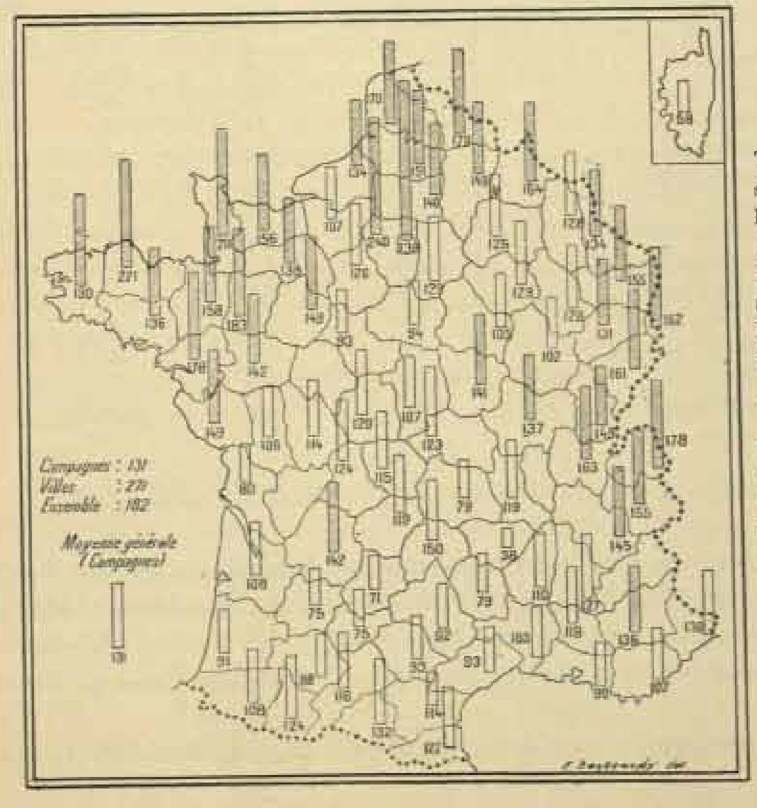
Als wichtiges Beweisstück für den ursächlichen Zusammenhang von Alkoholismus und Tuberkuloseinfektion wird angeführt, daß die Häufigkeit der Tuberkulosetodesfälle und die Höhe des Alkohol-, insbesondere des Branntweinverbrauchs, auf den Kopf der Bevölkerung berechnet, einander parallel gehen. Ganz besonders haben französische Untersucher für Frankreich darauf hingewiesen, daß im Norden und Osten, wo der Branntweinverbrauch überwiegt, auch die Tuberkulose am meisten verbreitet ist. J. Bertillon hat im Jahre 1910 an der Hand von Kartenskizzen, welche den Branntweinverbrauch und die Tuberkulosesterblichkeit nach den einzelnen Departements graphisch darstellen, den Nachweis zu erbringen gesucht, daß in Frankreich der Branntweingenuß für die Tuberkuloseerkrankungen ausschlaggebend sei, daß demnach die Tuberkulose durch Einschränkung des Branntweingenusses bekämpft werden müsse.

Vergleicht man die Karte des Branntweinverbrauchs (1906) mit derjenigen der Tuberkulosemortalität (1906), so fällt ja sicherlich auf den ersten Blick eine gewisse Übereinstimmung auf: hoher Alkoholverbrauch besonders im Norden, und da auch hohe Tuberkuloseziffer, und umgekehrt im Süden, aber es handelt sich da doch nur um einen sehr summarischen Eindruck; sieht man genauer zu, so erkennt man doch alsbald, daß der Parallelismus nur ein allgemeiner, oberflächlicher ist mit ungemein großen Abweichungen sowohl in der einen Richtung (großer Alkoholverbrauch — geringe Tuberkulosesterblichkeit) als auch nach der anderen (trotz niedriger Alkoholzahl hohe Tuberkulosesterblichkeit).

Die Gleichung hoher Alkoholverbrauch = hohe Tuberkulosesterblichkeit enthält also Mittelwerte aus weit voneinander entfernt liegenden Endwerten, und der Wert einer Mittelzahl steht in umgekehrtem Verhältnis zu der Entfernung der Endzahlen.



Branntweinverbrauch in den französischen Departements auf den Kopf der Bevölkerung und Liter absoluten Alkohols berechnet. Jahr 1906. Die das allgemeine Mittel überschreitenden Maße sind punktiert.



Tuberkulosesterblichkeit in den französischen Departements auf je 100000 Einwohner berechnet. Jahr 1906. Die Punktierung bedeutet, daß die Sterblichkeit über das allgemeine Mittel hinausgeht.

Sehen wir uns deshalb die Einzelzahlen, aus denen jene Mittelwerte abgeleitet sind, etwas näher an. In der folgenden Tabelle habe ich die Zahlen von 14 Departements zusammengestellt, unter denen sich sowohl diejenigen mit den höchsten als auch diejenigen mit den niedrigsten Zahlen für beide Angaben, den Alkoholverbrauch und die Tuberkulosesterblichkeit, befinden. Die niedrigste Alkoholzahl hat Departement Gers mit 0.8, die höchste Departement Seine-inférieure mit 12.5; die höchste Tuberkulosesterblichkeit weist — von Paris abgesehen — das Departement Haute-Savoie (mit 178 und 213[1]), die niedrigste das Departement Lot (mit 71 und 112) und das Departement Gers (mit 88 und 89) auf. Dabei ist auffällig, daß, während im allgemeinen die Sterblichkeitszahlen für 1906 und 1907 sehr wenig abweichen, doch in einzelnen Departements, und zwar sowohl in solchen mit niedriger als auch in solchen mit hoher Sterblichkeitsziffer, die Zahlen für 1907 erheblich höhere sind.

Tabelle 1.

Nach J. Bertillon, Tuberculosis IX, S. 172 u. 174, 1910.

Departement	Verbrauch von Branntwein pro Kopf und Jahr als absol. Alkohol berechnet	Tuberkulosemortalität auf 100000 Einwohner berechnet	
	1906	1906	1907
Paris	5.3	338	344
Gers	0.8*	88*	89
Lot	1.0	71*	112
Dordogne	1.0	142	146
Pas-de-Calais	7.8	170	171
Eure	9.3	107	111
Seine-inférieure	12.5**	134	132
Vendée	0.9	149	151
Haute-Savoie	1.2	178**	213
Savoie	1.3	155	156
Hautes-Pyrénées	1.4	124	126
Meuse	3.4	128	106
Meurthe-et-Moselle	3.5	134	135
Bouches-du-Rhône	4.5	90***	120***

* Niedrigste Zahlen. ** Höchstzahlen. *** Nahe den Niedrigstzahlen.

Daß Paris mit seinen die höchsten Departementszahlen um das Doppelte übersteigenden Tuberkulosetodesfällen ganz besondere Verhältnisse darbieten muß, geht schon aus dieser Höhe der Zahlen ohne weiteres hervor, tritt aber erst recht vor Augen, wenn man die Tatsache beachtet,

[1] Die zweiten Zahlen beziehen sich auf die Tuberkulosesterblichkeit des Jahres 1907.

daß sich die Alkoholzahl noch unter der Mitte der Höchstzahl hält, wenn sie auch die Mittelzahl für ganz Frankreich (3.85) übersteigt. Damit ist also schon für eine recht erhebliche Zahl von Tuberkulosetodesfällen erwiesen, daß für sie nicht der Alkoholgenuß ausschlaggebend sein kann.

Aber auch für die Departements gilt das gleiche, da wenigstens bei vielen das Verhältnis Alkoholverbrauch zu Tuberkulosesterblichkeit die allergrößten Verschiedenheiten darbietet.

Zwar stehen die Departements Gers (0.8) und Lot (1.0) mit ihren niedrigsten Alkoholzahlen auch in bezug auf die Tuberkulosesterblichkeit (88/89 und 71/112) am günstigsten da, aber Lot hat im Jahre 1907 gegen das vorhergehende Jahr eine Zunahme der Tuberkulosesterbefälle um 57.75 Prozent erfahren, und die Dordogne, welche ebenfalls die Alkoholzahl 1.0 hat, steht mit ihren Todeszahlen (142/146) trotzdem nahe der oberen Grenze.

Das Departement Pas-de-Calais mit recht hoher Alkoholzahl (7.8) hat auch eine hohe Todeszahl (170/171), aber Departement Eure mit um 19.20 Prozent höherer Alkoholzahl (9.3) hat doch eine ganz wesentlich niedrigere Mortalität (107/111), und Departement Seine-inférieure mit der höchsten Alkoholzahl (12.5), welche noch um 60 Prozent höher ist als die des Pas-de-Calais, hat doch nur 134/132 Tuberkulosetodesfälle. Wie wenig hier eine Übereinstimmung herrscht, erkennt man recht deutlich, wenn man nun die Vendée heranzieht, welche mit 149/151 Todesfällen die Seine-inférieure noch um 12.8 Prozent übertrifft, deren Alkoholzahl aber nur $^1/_{14}$ (7.2 Prozent) derjenigen des anderen Departements beträgt.

Die höchste Sterblichkeit nach Paris besitzt das Departement Haute-Savoie, bei dem noch eine ganz beträchtliche Zunahme für das Jahr 1907 verzeichnet ist und das trotzdem mit seiner Alkoholzahl (1.2) der unteren Grenze nahe steht. Ähnlich liegen die Verhältnisse in dem anderen savoyischen Departement (Savoie), welches bei 1.3 Alkoholverbrauch 155/156 Tuberkulosetodesfälle hatte.

Das Departement Hautes-Pyrénées mit seinem Alkoholverbrauch von 1.4 hat doch 124/126 Todesfälle und steht mit diesen den Departements Meuse (128/106) und Meurthe-et-Moselle (134/135) sehr nahe, obwohl hier der Alkoholverbrauch $2\frac{1}{2}$ mal so groß ist, und Departement Bouches-du-Rhône mit $3\frac{1}{2}$ mal so großem Alkoholverbrauch steht in bezug auf die Sterbeziffer (90/120) noch weit günstiger, nämlich (besonders für das Jahr 1906) nicht fern der unteren Grenze.

Angesichts dieser so gänzlich regellosen Befunde erscheint es mir nicht zulässig, in ihnen eine genügende Grundlage für die Behauptung zu sehen, daß in Frankreich der Branntweingenuß für das Auftreten der Lungenschwindsucht ausschlaggebend sei. Ich bekämpfe, ausdrücklich

sei es hervorgehoben, nur diese positive Schlußfolgerung, will aber meinerseits nicht etwa negative Schlüsse aus dem Mitgeteilten ableiten, dies um so weniger, als ich den Branntweingenuß allein nicht als Maßstab für chronischen Alkoholismus gelten lassen kann und den Nachweis vermisse, daß chronischer Alkoholismus durch Weingenuß für die Tuberkulosemortalität eine andere Bedeutung habe als der durch Branntweingenuß erzeugte. Ein anderer französischer Forscher hat die Tuberkulose auch eine Erkrankung der Weintrinker genannt, und was das dritte geistige Getränk, das Bier, betrifft, so gilt das, was ich vorher von der Disposition für Tuberkulose, welche die Alkoholgewerbe im allgemeinen erzeugen, gesagt habe, in vollem Maße auch für die Biergewerbe.

II.

Ein anderer Beweisgrund für die Bedeutung des Alkoholismus für die Tuberkulose wird darin gesehen, daß das männliche Geschlecht, bei welchem der Alkoholismus so weit überwiegt, auch bei der Tuberkulose weit stärker beteiligt ist als das weibliche. Die Tatsache an sich ist richtig. So starben z. B. (s. Tabelle 2) im Jahre 1902 an Tuberkulose 35769 männliche, aber nur 30957 weibliche Personen und 10 Jahre später (1912) 30944 männliche, 28967 weibliche Personen, und so war es in allen Jahren. Es ist dabei zu berücksichtigen, daß in bezug auf die Gesamtbevölkerung das umgekehrte Verhältnis besteht, so daß 1902 auf 17259599 Männer 17781380 Weiber und 1912 auf 20306523 Männer 20768141 Weiber kamen. Es hätten also bei sonst gleichen Verhältnissen mehr Frauen an Tuberkulose sterben müssen als Männer — aber gerade das Umgekehrte ist eingetreten. Wenn man aber bedenkt, daß der absolute Unterschied doch nur 5—6 Prozent der männlichen Todesfälle beträgt, so wird man unschwer erkennen, daß das Überwiegen der Tuberkulosesterblichkeit bei Männern nicht im entferntesten dem Überwiegen des Alkoholismus bei ihnen gleichkommt, also schon deswegen die Rolle des Alkohols nur eine beschränkte sein könnte.

Nun zeigt sich aber weiter die beachtenswerte Tatsache, daß die Sterblichkeit der beiden Geschlechter durchaus nicht parallel geht, sondern daß in verschiedenen Lebensaltern das gegenseitige Verhältnis ein ganz verschiedenes, teilweise entgegengesetztes ist. In den ersten Lebensjahren, manchmal bis zum Ende des zweiten, manchmal bis zum Ende des dritten Lebensjahres, ist die Tuberkulosesterblichkeit bei Knaben stets größer als bei Mädchen, dann aber tritt das Gegenteil ein, so daß bis zum Ende des 20. Lebensjahres erheblich mehr weibliche als männliche Personen an Tuberkulose gestorben sind. Für diese und die

Tabelle 2.

Es starben an Tuberkulose in Preußen nach den standesamtlichen Meldungen:

	1901	1902	1910	1911	1912
M.	36 290	35 769	31 090	31 358	30 944
W.	31 155	30 957	29 389	29 861	28 967
Zusammen	67 445	66 726	60 479	61 219	59 911
Bis zum vollendeten 20. Lebensjahr					
M.	6 798	6 636	7 255	7 304	7 070
W.	7 668	7 702	8 153	8 368	7 964
Zusammen	14 466	14 338	15 672	15 672	15 034
Zwischen 20. und 30. Lebensjahr					
M.	7 066	7 130	6 275	6 412	6 555
W.	6 685	6 729	6 716	6 908	6 747
Zusammen	13 751	13 859	12 991	13 320	13 302
Bis zum vollendeten 30. Lebensjahr					
M.	13 864	13 766	13 530	13 716	13 625
W.	14 353	14 431	14 869	15 276	14 711
Zusammen	28 217	28 197	28 399	28 992	28 336
Zwischen 30. und 40. Lebensjahr					
M.	6 089	5 775	5 242	5 335	5 419
W.	5 510	5 499	5 572	5 617	5 545
Zusammen	11 599	11 274	10 814	10 952	10 964
Bis zum vollendeten 40. Lebensjahr					
M.	19 953	19 541	18 772	19 051	19 044
W.	19 863	19 930	20 441	20 893	20 256
Zusammen	39 816	39 471	39 213	39 944	39 300
Nach dem 40. Lebensjahr					
M.	16 337	16 228	12 318	12 307	11 900
W.	11 292	11 027	8 948	8 968	8 711
Zusammen	27 629	27 255	21 266	21 275	20 611
Im Ganzen	67 445	66 726	60 479	61 219	59 911
Gesamtbevölkerung					
Zusammen	34 516 512	35 040 979	39 551 351	40 500 283	41 074 664
M.	16 993 888	17 259 599	19 526 795	20 016 762	20 306 523
W.	17 522 624	17 781 380	20 024 556	20 483 521	20 768 141
Bestand am	1. Jan. 1901	1. Jan. 1902	1. Jan. 1910	1. Juli 1911	1. Juli 1912

folgenden Darlegungen habe ich aus den Veröffentlichungen der Preußischen Medizinalabteilung des Ministeriums »Das Gesundheitswesen des Preußischen Staates« eine Anzahl Übersichtstabellen für die 6 Jahre

1900—02, 1910—12 zusammengestellt. Zu den 3 letzten Jahren, über die Berichte bis jetzt erschienen sind, habe ich noch die vorhergehenden 10 Jahre genommen, weil seitdem beachtenswerte Verschiebungen in der Zahl der Tuberkulosetodesfälle eingetreten sind. Die Tabellen geben teils absolute Zahlen, teils relative; im wesentlichen stimmen sie alle in bezug auf die Verteilung der Tuberkulosetodesfälle bei den beiden Geschlechtern überein, wenn auch in Einzelheiten kleine Verschiedenheiten hervortreten, auf die ich im weiteren aufmerksam machen werde.

Bei der ersten dieser Tabellen (Tabelle 2), welche die absoluten Zahlen wiedergibt, fehlt das Jahr 1900, weil für dieses die entsprechenden Angaben in den ministeriellen Veröffentlichungen fehlen. Unter Außerachtlassung der abweichenden Verhältnisse der ersten Lebensjahre, welche an dem Gesamtresultat nichts Wesentliches ändern, war in allen Jahrgängen bis zum vollendeten 20. Lebensjahre die absolute Sterblichkeit an Tuberkulose bei weiblichen Personen um rund 1000, d. h. 14—15 Prozent der männlichen Sterbeziffer, größer. Es ist dabei bemerkenswert, daß bei beiden Geschlechtern im Jahre 1912 ein merklicher Rückgang der Todesfälle eingetreten ist, der aber bei den Frauen erheblicher ist als bei den Männern. Die etwaige Zunahme der Abstinenzbewegung bei der Jugend kann darum nicht zur Erklärung dieser Tatsache herangezogen werden. Zwischen dem 20. und 30. Lebensjahr ist die absolute Sterblichkeit an Tuberkulose eine besonders hohe, denn sie steht nicht allzuweit zurück gegenüber der Zahl für die ersten 20 Jahre zusammengenommen. Auch in dieser Zeit ist ein gewisser Rückgang der Todeszahlen zu bemerken, wenn er auch in den letzten 3 Jahren ungleichmäßig ist (bei den Weibern) oder gar ganz fehlt (bei den Männern). Im letzten Jahr ist die Zahl der Todesfälle beim männlichen Geschlecht gestiegen, beim weiblichen gefallen. Besonders bemerkenswert aber ist, daß bei den beiden, ein Jahrzehnt auseinanderliegenden Jahrpaaren (1901/02 und 1911/12), das Verhältnis der Sterblichkeit der Männer zu derjenigen der Weiber sich umgekehrt hat: in den Jahren 1901 und 1902 starben je mehr Männer als Weiber, im Jahrzehnt später aber umgekehrt mehr Weiber als Männer. Trotz des Überwiegens der Männertodesfälle zwischen 20. und 30. Lebensjahr in den Jahren 1901/02 ist doch auch in ihnen noch die Gesamtsterblichkeit der Männer für die ersten 30 Lebensjahre kleiner als die der Weiber, wenn auch der Unterschied geringer ist als ein Jahrzehnt später.

Ähnlich ist das Verhältnis der Geschlechtersterblichkeit zwischen dem 30. und 40. Lebensjahre. Im Anfang dieses Jahrhunderts starben noch mehr Männer als Frauen, in den Jahren 1910—12 war es aber umgekehrt.

Der Gesamtverlust der Frauen innerhalb der ersten 40 Lebensjahre war absolut schon 1902 etwas größer als der der Männer, wir werden aber sogleich sehen, daß dies nur damit zusammenhängt, daß es 1902 überhaupt über eine halbe Million mehr Frauen gab als Männer, dagegen war er in den letzten 3 Jahren absolut so erheblich, daß man daraus auch schon auf eine relative Zunahme schließen kann.

Ganz anders stellt sich das Bild der absoluten Sterblichkeit nach dem 40. Lebensjahre dar. Nun sterben erheblich viel mehr Männer an Tuberkulose als Frauen, und zwar ist diese Erscheinung vor 10 Jahren bereits ebenso gewesen wie in den letzten Jahren.

Nun habe ich schon mehrfach darauf hingewiesen, und es ist ja auch auf der Hand liegend, daß bei der so verschiedenen Gesamtzahl der beiden Geschlechter die absoluten Sterbeziffern einen unmittelbaren Vergleich nicht zulassen, daß, um einen solchen zu ermöglichen, Verhältniszahlen berechnet werden müssen. Ich habe trotzdem die absoluten Zahlen angeführt, weil diese die von den Behörden veröffentlichten Grundzahlen sind, mittels deren die Verhältniszahlen berechnet werden müssen.

Vergleichbare Verhältniszahlen kann man nun in der verschiedensten Weise gewinnen. Die Tabelle 3 gibt für die beiden Jahrpaare 1901/02 und 1911/12 die auf je 10000 Lebende der Gesamtbevölkerung und der Gesamtzahl beider Geschlechter berechneten Verhältniszahlen. Da ich nur 1 Dezimalstelle in abgerundeter Form gegeben habe (0.1 bis 0.5 ist unberücksichtigt geblieben, 0.6—0.9 als 1.0 gerechnet worden), so haben sich hie und da bei der Verhältniszahl der Gesamtbevölkerung, verglichen mit der der Geschlechter, kleine Unstimmigkeiten ergeben.

Vergleicht man diese Relativzahlen mit den absoluten, so erkennt man in der Hauptsache eine völlige Übereinstimmung. Auf die Ausnahme für die ersten 40 Jahre im Jahre 1902 habe ich schon hingewiesen: die absolute Sterbeziffer des weiblichen Geschlechts war etwas höher als die des männlichen, die Verhältniszahlen zeigen aber das Umgekehrte, während 1911 auch die Verhältniszahlen die stark überwiegende Sterblichkeit der weiblichen Personen erkennen lassen. Dasselbe Verhältnis besteht auch noch im Jahre 1912, nur ist die Spannung geringer geworden, aber nicht etwa deswegen, weil die Sterblichkeit der Männer erheblicher abgenommen hat, denn diese Abnahme beträgt nur 0.1, sondern weil die Frauensterblichkeit um 0.4 zurückgegangen ist. Wiederum kann die Abstinenzbewegung bei den jungen Männern nicht wohl die Ursache für die Verschiebung der Verhältnisse sein.

In Tabelle 3 habe ich die relative Sterblichkeit für die Gesamtheit der in einem Jahre Lebenden festgestellt, man hat aber auch noch andere Berechnungen gemacht, die aber sämtlich zu dem gleichen Resultat geführt haben.

Tabelle 3.

Es starben in Preußen an Tuberkulose von je 10000 der Gesamtbevölkerung überhaupt und von der Gesamtheit jedes Geschlechts:

	1901	1902	1911	1912
Im Alter von 0—20 Jahren				
Überhaupt	4.2	4.1	3.9	3.7
M.	4.0	3.8	3.6	3.5
W.	4.4	4.3	4.1	3.9
Zwischen 20. und 30. Lebensjahr				
Überhaupt	4.0	4.0	3.3	3.2
M.	4.2	4.1	3.2	3.2
W.	3.8	3.8	3.4	3.2
Im Alter von 0—30 Jahren				
Überhaupt	8.2	8.0	7.2	6.9
M.	8.2	8.0	6.9	6.7
W.	8.2	8.1	7.5	7.1
Zwischen 30. und 40. Lebensjahr				
Überhaupt	3.4	3.2	2.7	2.7
M.	3.6	3.3	2.6	2.7
W.	3.1	3.1	2.7	2.7
Im Alter von 0—40 Jahren				
Überhaupt	11.5	11.3	9.9	9.6
M.	11.7	11.3	9.5	9.4
W.	11.3	11.2	10.2	9.8
Im Alter jenseits des 40. Lebensjahres				
Überhaupt	8.0	7.8	5.3	5.0
M.	9.6	9.4	6.1	5.9
W.	6.4	6.2	4.4	4.2
Für alle Lebensalter zusammen				
Überhaupt	19.5	19.0	15.1	14.6
M.	21.4	20.7	15.7	15.2
W.	17.6	17.4	14.5	13.9

Eine andere Berechnung bezieht sich auf 10000 Lebende in den betreffenden Altersklassen; sie ist in Tabelle 4 wiedergegeben. In den Jahren 1898 bis 1902 lag der Wendepunkt am Ende des 20. Lebensjahres; bis dahin überwog die Sterblichkeit der weiblichen Personen, von da ab diejenige der männlichen. Nach 10 Jahren, in den Jahren 1910—1912, war der Wendepunkt an das Ende des 40. Lebensjahres gerückt.

Bei der Berechnung des Prozentverhältnisses auf 100 Gestorbene der betreffenden Altersklasse (Tabelle 5) zeigt sich nur insofern eine kleine Verschiebung, als im Anfang unseres Jahrhunderts der Wendepunkt am Ende des 25. Lebensjahres lag, während er 10 Jahre später

Tabelle 4.

Von 10000 Lebenden starben in Preußen an Tuberkulose in den Altersklassen

Alter	1898—1900		1901		1902		1910		1911		1912	
	M.	W.	M.	W.	M.	W.	M.	W.	M.	W.	M.	W.
0—1	24.68	19.97	23.82	20.92	21.27	18.03	20.39	16.36	24.11	19.11	23.10	18.68
1—2	16.47	16.08	16.39	15.08	16.17	14.42	13.64	12.18	16.03	13.39	16.15	14.00
2—3	8.71	8.80	9.02	9.46	8.82	8.20	8.56	7.86	8.41	8.69	10.03	8.72
3—5	5.93	6.26	5.97	6.37	5.46	6.34	5.89	5.88	5.97	6.02	5.79	6.17
5—10	3.73	4.81	3.54	4.65	3.62	5.32	3.78	4.87	3.77	4.80	3.83	4.82
10—15	4.47	7.92	4.16	7.46	4.08	7.61	3.95	6.49	3.97	7.17	4.02	6.92
15—20	**14.03**	**15.29**	**14.63**	**16.40**	**14.36**	**16.54**	12.26	14.82	12.23	15.37	12.05	14.86
20—25	26.06	22.00	25.24	20.81	23.97	21.02	19.78	18.66	19.55	19.92	20.51	20.61
25—30	25.14	24.15	24.27	25.47	25.07	24.68	19.39	21.83	19.26	21.94	18.10	20.53
30—40	28.06	25.32	27.18	24.14	25.37	23.77	**19.13**	**19.60**	**19.21**	**20.25**	**19.50**	**21.05**
40—50	38.89	24.27	35.85	22.12	34.98	21.59	22.62	15.68	22.95	16.17	24.40	16.42
50—60	46.72	27.15	44.99	25.06	43.30	23.53	26.80	14.36	28.42	16.00	30.84	16.89
60—70	57.77	37.80	47.47	31.32	48.90	30.72	27.31	19.14	29.64	19.27	28.54	19.67
70—80	33.11	23.80	29.99	21.14	27.74	20.06	17.35	15.39	19.66	14.67	18.59	16.20
80—	16.28	12.62	14.23	11.29	12.74	8.96	7.62	5.66	7.27	9.45	8.80	7.01
Unbekannt					2.35	11.91						

Tabelle 5.

Von 100 Gestorbenen der betreffenden Altersklassen starben in Preußen an Tuberkulose

Alter	1900		1901		1902		1910		1911		1912	
	M.	W.	M.	W.	M.	W.	M.	W.	M.	W.	M.	W.
0—1	0.91	0.87	0.88	0.93	0.92	0.96	1.19	1.17	1.04	0.99	1.13	1.11
1—2	3.03	3.21	3.06	2.97	3.32	3.12	4.62	4.13	4.14	3.60	4.52	4.24
2—3	4.08	4.60	4.37	4.73	4.75	4.47	7.50	6.95	6.36	7.02	7.35	6.95
3—5	5.06	5.71	5.28	5.67	5.41	6.28	8.23	9.17	8.31	8.60	9.14	9.18
5—10	7.78	10.14	7.06	8.99	7.69	10.85	11.14	13.91	10.92	14.20	12.00	14.73
10—15	16.65	26.10	14.88	24.85	16.37	26.02	18.33	29.65	17.04	30.41	18.25	28.22
15—20	34.48	43.90	34.85	43.89	35.58	44.83	33.14	46.51	31.42	45.91	32.04	44.83
20—25	**43.90**	**44.33**	**44.31**	**44.66**	**44.79**	**45.87**	41.69	47.00	38.82	45.54	39.17	44.76
25—30	43.10	42.24	41.95	41.85	43.08	41.76	39.98	43.73	38.42	41.47	39.06	41.94
30—40	35.57	34.69	35.67	34.26	34.13	34.48	**32.24**	**33.57**	**30.88**	**32.39**	**30.83**	**32.15**
40—50	26.54	24.84	26.54	24.39	26.40	23.83	22.31	20.94	20.86	19.99	20.89	19.82
50—60	19.00	15.91	18.87	15.25	17.97	14.53	14.30	11.06	13.30	10.58	12.90	9.76
60—70	11.12	8.48	10.52	8.32	10.39	7.92	6.76	5.61	6.65	5.26	6.14	5.31
70—80	3.16	2.34	3.04	2.32	2.74	2.16	1.92	1.80	1.99	1.64	1.76	1.71
80—	0.57	0.53	0.67	0.56	0.58	0.43	0.44	0.36	0.32	0.45	0.34	0.27
Unbekannt	0.88	2.02	1.72	—	0.35	4.17	0.50	—	1.46	3.39	0.50	3.51

wie nach den anderen Berechnungsarten ans Ende des 40. Lebensjahres verschoben erscheint.

Endlich gebe ich noch eine kleine Tabelle (Tabelle 6) nach Cornet, bei der die Todesfälle auf 100 Todesfälle des gleichen Geschlechtes berechnet sind. Da zeigt sich die interessante Tatsache, daß zwar für die Jahre 1881—1890 der Wendepunkt wieder am Ende des 20. Lebensjahres lag, daß er aber bereits für das Jahr 1896 an das Ende des

Tabelle 6.

Nach Cornet. Auf 100 Todesfälle des gleichen Geschlechts kamen in Preußen Tuberkulosefälle

Alter	1881—1890 M.	1881—1890 W.	1896 M.	1896 W.
0—1	1.0	1.0	3.29	3.10
1—2	3.0	3.1	2.00	2.20
2—3	3.5	3.9	1.02	1.29
3—5	3.3	3.8	1.18	1.46
5—10	5.1	6.6	1.87	2.93
10—15	12.5	20.7	2.10	4.41
15—20	**35.8**	**43.3**	6.59	8.43
20—25	45.2	42.6	9.52	9.56
25—30	46.6	42.8	8.23	9.68
30—40	41.0	38.3	**16.90**	**17.76**
40—50	33.6	32.4	16.79	13.15
50—60	28.4	25.1	15.51	11.96
60—70	19.3	15.4	11.47	10.31
70—80	6.3	4.4	3.32	3.45
80—	1.2	0.9	0.21	0.31

40. Lebensjahres gerückt war. Jedenfalls können wir nun ganz bestimmt sagen, daß für unsere Zeit unter den Tuberkulosetodesfällen eines Jahres bei Personen von 0—40 Jahren die weiblichen Personen überwiegen.

Wenn man nun berücksichtigt, daß gerade in den letzten Jahren nahezu $\frac{2}{3}$ aller Tuberkulosetodesfälle in die ersten 40 Lebensjahre fallen, so kann man doch unmöglich den Gedanken zulassen, daß der Alkoholismus der Männer bei diesen Todesfällen, bei welchen die weiblichen Toten überwiegen, eine Rolle spielen könne.

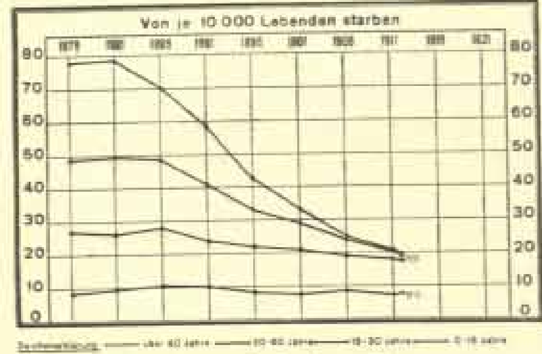
Anders liegen die Verhältnisse bei dem starken letzten Drittel aller Tuberkulosetodesfälle, welches die Bevölkerung jenseits des 40. Lebensjahres betrifft. Hier überwiegt das männliche Geschlecht ganz bedeutend, was zwar schon aus den absoluten Zahlen zu entnehmen ist, aber mit Sicherheit doch erst aus den Relativzahlen hervorgeht. Dieser Unterschied bestand schon im Anfang unseres Jahrhunderts und ist bis zu den letzten Jahren geblieben. Aber er ist verhältnismäßig geringer geworden, von 3.2 in den Jahren 1901 und 1902 auf 1.7 in den Jahren

1911 und 1912 zurückgegangen, und zwar dadurch, daß die relative, auf 10000 Lebende des betreffenden Geschlechtes berechnete Sterbeziffer bei den Männern um 3.5 in einem Jahrzehnt, bei den Frauen nur um 2.0 zurückgegangen ist.

Hier könnte man also dem Alkoholismus seine Rolle zuteilen, indem man einerseits annehmen könnte, die überragende Sterblichkeit der Männer hänge mit ihm zusammen, anderseits die größere Sterblichkeitsabnahme der Männer als Folge der Abstinenzbewegung ansprechen möchte. Indessen wäre ein solches Vorgehen doch durchaus einseitig und ließe sehr wichtige andere Umstände außer Betracht. Die preußischen Medizinalberichte und u. a. auch CORNET legen den Hauptnachdruck auf die Schädigungen, welchen die Männer mehr als die Frauen durch ihre Erwerbstätigkeit ausgesetzt sind, und die größere Abnahme der Sterblichkeit bei den Männern im letzten Jahrzehnt wird man viel eher als Wirkung der immer mehr verbesserten Gewerbehygiene denn als eine solche der Abstinenzbewegung ansehen dürfen, einer Bewegung, von der wohl von vornherein anzunehmen ist, daß sie mehr bei jungen als bei alten Männern erreicht, daß sie eher junge Leute vor dem Trunke bewahrt, als alte Säufer dem Trunke abwendig macht.

Wie regelmäßig mit dem höheren Lebensalter die Zahl der Tuberkulosetodesfälle in den letzten Jahren abgenommen hat, ist recht klar aus einer Kurventafel zu ersehen, die ich Hrn. Ministerialdirektor KIRCHNER verdanke. Wir ersehen daraus, daß es leider noch nicht geglückt

Rückgang der Sterblichkeit an Tuberkulose in Preußen seit dem Jahre 1876 in den Altersklassen von 0—15, 15—30, 30—60 und über 60 Jahre.



Auf 10000 Lebende starben:

in der Altersklasse von 0—15 Jahren	1876: 8.52	1911: 7.26
» » » » 15—30 »	1876: 26.91	1911: 17.76
» » » » 30—60 »	1876: 48.62	1911: 20.17
» » » über 60 Jahre	1876: 77.62	1911: 20.85

ist, die Kindersterblichkeit an Tuberkulose wesentlich herabzudrücken, während dies um so mehr gelungen ist, je höhere Altersklassen berücksichtigt worden sind. Daß dabei der Alkoholismus keine wesentliche Rolle spielt, dafür möchte ich schließlich noch einen anderen Grund anführen, nämlich die Tatsache, daß der Konsum von Alkohol, sowohl in der Form von Branntwein als auch in Form aller geistiger Getränke zusammengenommen, bei uns gar nicht wesentlich abgenommen hat. Der Verbrauch von absolutem Alkohol in Gestalt von Branntwein betrug bei uns pro Jahr und Kopf bis in die letzte Zeit hinein um 4 Liter herum und der in Gestalt von Branntwein, Bier und Wein zusammen um 10 Liter herum. Danach kann man nicht wohl auf den Gedanken kommen, daß die Abnahme der Tuberkulosetodesfälle im höheren Alter von einer Abnahme des Alkoholverbrauchs herrühre. Wenn aber die in den letzten Jahren festgestellte Abnahme der Tuberkulosetodesfälle bei Männern jenseits des 40. Jahres mit dem Alkoholismus nichts Wesentliches zu tun hat, so wird man auch umgekehrt schließen dürfen, daß auch bei der Zunahme der Tuberkulosetodesfälle jenseits des 40. Lebensjahres der Alkoholismus eine ausschlaggebende oder auch nur wesentliche Rolle nicht spielen wird.

III.

Nunmehr komme ich zu einem dritten und letzten Punkt, zur experimentellen Erforschung der Beziehungen zwischen Alkoholismus und Tuberkulose. Hierbei handelt es sich um zwei Fragen, nämlich erstens darum, ob bestehender Alkoholismus das Haften einer tuberkulösen Infektion begünstigt, und zweitens darum, ob der Verlauf einer tuberkulösen Erkrankung durch Alkohol ungünstig beeinflußt wird. Im allgemeinen wählt man bei den Experimenten die Bedingungen so, daß eine Infektion unter allen Umständen zu erwarten ist, so daß im wesentlichen nur die zweite Frage zur Entscheidung steht. Immerhin habe ich, um auch der ersten Möglichkeit Raum zu geben, schon einige Zeit vor der Infektion die Versuchstiere unter Alkoholwirkung gesetzt, so daß sie schon als disponierte Tiere in die Tuberkuloseexperimente eintreten konnten.

Es liegen bereits von verschiedenen Untersuchern Mitteilungen von positiven Resultaten, d. h. von ungünstiger Wirkung des Alkohols vor, es fehlt aber auch nicht an gegenteiligen Angaben. Die Versuche wurden teils an Meerschweinchen, teils an Kaninchen angestellt. Man kann den Tieren den Alkohol direkt ins Blut einspritzen, man kann ihn verfüttern, man kann ihn subkutan verabreichen. Die Injektion ins Blut ist eine sehr eingreifende Methode und für länger fortgesetzte Beibringung kaum geeignet, bei der Verfütterung hat man mit unmittelbaren

Magenstörungen zu rechnen und kann nicht sicher feststellen, ob ein etwa erzielter Erfolg von dem Alkohol unmittelbar oder mittelbar von der Magenstörung herzuleiten ist. Für die menschliche Pathologie ist das ja schließlich unwesentlich, ob der Alkohol direkt oder indirekt wirkt, wenn er nur wirkt; für die wissenschaftliche Forschung ist die Frage aber nicht gleichgültig, und so habe ich es vorgezogen, den Tieren den Alkohol subkutan beibringen zu lassen. Mein Assistent Hr. Dr. HEITZMANN hat die Einspritzungen vorgenommen, die die Tiere im allgemeinen gut vertragen haben. Beim Menschen rechnet man im allgemeinen 70 ccm absoluten Alkohols als Rauschgabe, d. h. ungefähr 1 ccm auf 1 kg Körpergewicht. Ich habe demgemäß einem Teil der Tiere von einer 10prozentigen Alkohollösung so viel einspritzen lassen, daß auf 1 kg Körpergewicht etwa 1 ccm absoluter Alkohol kam. Da aber in der Literatur Angaben vorliegen, daß auch schon eine viel geringere Menge Alkohol, nämlich 0.1 ccm auf 1 kg Körpergewicht, ungünstige Wirkungen zeitige, so habe ich einem anderen Teil der Tiere diese geringere Menge verabreichen lassen.

Ich wählte zu den Versuchen Kaninchen, weil diese Tiere sich gegenüber den beiden Haupttypen der Tuberkelbazillen, dem Typus bovinus und Typus humanus, verschieden verhalten. Die bovinen Bazillen sind ihnen, in der Menge von 0.01 g Bazillen subkutan beigebracht, ebenso gefährlich wie den Meerschweinchen, d. h. sie machen eine tödliche Tuberkulose, die humanen Bazillen dagegen bewirken in gleicher Menge und Anwendungsart nur nicht tödliche, örtlich bleibende Veränderungen. Wenn der Alkohol die Tuberkuloseinfektion begünstigt und den Verlauf der Krankheit beschleunigt, so war die Möglichkeit gegeben, daß nicht nur die mit bovinen Bazillen infizierten Tiere schneller starben, sondern vielleicht auch die Alkoholtiere den humanen Bazillen gegenüber sich als empfindlicher erwiesen, nicht nur örtliche, sondern mehr oder weniger ausgebreitete tuberkulöse Veränderungen bekamen. Ich habe deshalb einen Teil der Tiere mit bovinen, einen anderen Teil mit humanen Bazillen in gleicher Menge (0.01 g) und Art (subkutan) infiziert. Die Infektion geschah am 18. Mai 1914, nachdem die Tiere seit 16. April, also etwas über 4 Wochen, ihre tägliche Alkoholmenge erhalten hatten. Die Alkoholverabreichung wurde noch bis 13. Juni fortgesetzt, also etwa weitere 4 Wochen, so daß die Tiere 8 Wochen lang ununterbrochen unter Alkoholwirkung standen, eine Zeit, die wohl hinreichend war, um den Alkohol seine Wirkung entfalten zu lassen.

Die Reinkulturen der Tuberkelbazillen hat mir Frau Professor RABINOWITSCH-KEMPNER geliefert. Den humanen Stamm hat diese selbst in meinem Institut aus menschlichem Lupus gezüchtet. Die mit dem Ausgangsmaterial geimpften Meerschweinchen starben nach etwa 8, 11 und

24 Wochen an allgemeiner, von der Impfstelle ausgegangener Tuberkulose. Bei einem mit dem Ausgangsmaterial geimpften Kaninchen, welches nach etwa 29 Wochen an einer Darmerkrankung einging, fand sich nur an der Impfstelle ein bohnengroßer tuberkulöser Knoten. Aus ihm wie aus den Organen der Meerschweinchen wurde ein übereinstimmender Bazillus rein kultiviert, von dem 0.5 mg nach 2 Monaten den Tod der Meerschweinchen an allgemeiner Tuberkulose herbeiführten, während ein Kaninchen nach subkutaner Verimpfung von 10 mg noch nach $3\frac{1}{2}$ Monaten bei der Tötung nur einen walnußgroßen Abzeß an der Impfstelle zeigte. Auch sonst bot die Kultur die typischen Eigenschaften des Typus humanus dar.

Der bovine Stamm ist nicht bei uns kultiviert, sondern stammt aus dem Hygienischen Institut der Tierärztlichen Hochschule. Nach dem Bericht ist er aus der tuberkulösen Lunge eines Rindes isoliert worden. Da ich über seine Virulenz nichts wußte, so habe ich auch 1 Meerschweinchen mit ihm infiziert, daneben 1 ebenfalls nicht alkoholisiertes Kaninchen, um Kontrollen zu haben. Zwei nicht alkoholisierte Kontrollkaninchen waren auch mit den humanen Bazillen geimpft worden.

Ich weiß nicht, soll ich sagen leider oder glücklicherweise hat sich dieser bovine Stamm als sehr wenig virulent erwiesen, so daß nicht nur das Kontrollkaninchen, sondern auch das Meerschweinchen, als ich 3 Monate nach der Infektion des ausgebrochenen Krieges wegen die sämtlichen Tiere tötete, nur örtliche Veränderungen darboten. Die Zeit von 3 Monaten hätte vollkommen hingereicht, um bei einer Infektion mit virulentem Stamm schwere allgemeine Tuberkulose zu erzeugen. Ich muß also einerseits beklagen, daß der benutzte Stamm kein typisch virulenter war, muß aber anderseits sagen, daß bei ihm gerade der Alkohol hätte zeigen können, was er vermag — aber die alkoholisierten Tiere, und zwar sowohl die stärker wie die weniger stark unter Alkoholwirkung gesetzten Tiere zeigten auch nur örtliche, an Größe untereinander und denen der Kontrolltiere gleichende Veränderungen. Ich kann also jedenfalls das eine sagen, daß die von mir angewandte Alkoholisierung der Kaninchen nicht imstande war, die Wirkung eines wenig virulenten Stammes boviner Bazillen zu steigern.

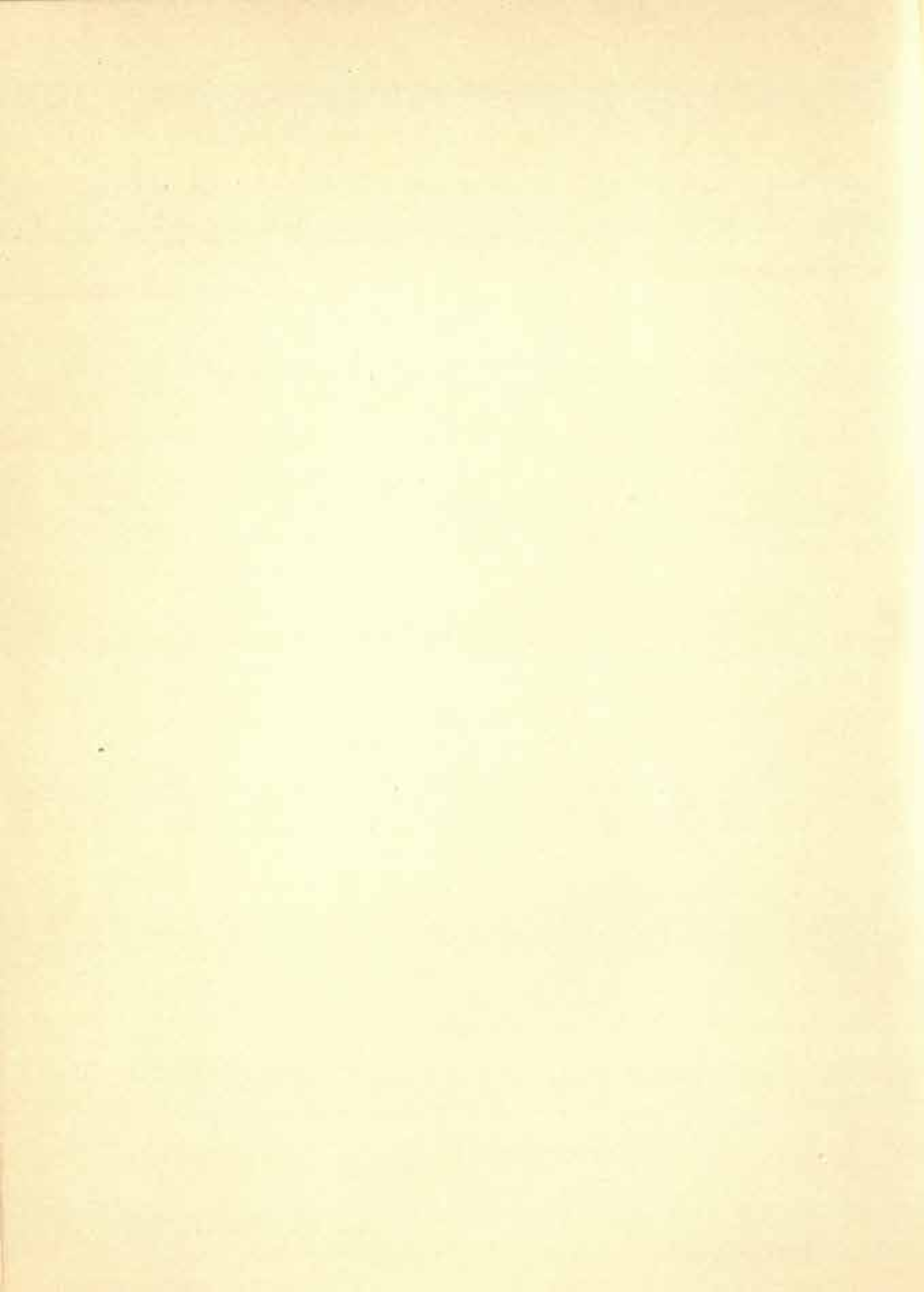
Ebenso negativ sind die Experimente mit dem Typus humanus ausgefallen.

Die sämtlichen Tiere hatten nur örtliche, scharf umschriebene Veränderungen davongetragen, die keine wesentlichen Verschiedenheiten darboten, ob sie sich nun bei den Kontrollkaninchen oder bei den mit mehr oder mit weniger Alkohol behandelten Tieren vorfanden.

Die Zahl meiner Versuche ist gering; 6 Alkoholtiere wurden mit den humanen, 4 mit den bovinen Bazillen infiziert, das legt mir für meine Schlüsse Beschränkung auf, aber die Zahl genügt doch, um zu sagen, daß unter den von mir angewandten Versuchsbedingungen jedenfalls keine die tuberkulösen Vorgänge fördernde Wirkung des Alkohols hervorgetreten ist. Wenn die Zeiten wieder ruhiger geworden sein werden, gedenke ich die Experimente wieder aufzunehmen.

Ausgegeben am 19. November.

Berlin, gedruckt in der Reichsdruckerei.



1914.
XLI.

SITZUNGSBERICHTE

DER

KÖNIGLICH PREUSSISCHEN

AKADEMIE DER WISSENSCHAFTEN.

---

19. November. Gesammtsitzung.

Vorsitzender Secretar: Hr. Planck.

1. Hr. Wilhelm Schulze las: Beiträge zur Wortgeschichte. (Ersch. später.)

Die Zusammenhänge zwischen lat. *tossia* und ags. *tysse* ahd. *zussa*, *gabatha* und ags. *gabutae* ahd. *gebiza*, ahd. *hahsna* und ags. *hōhsinu* an. *hásin* werden erläutert. Der Sinn der lat. Bezeichnung *corona analempsiaca* wird aus einer Hesychglosse bestimmt und für das etymologische Verständnis des lat. Verbums *redimire* verwertet

2. Das correspondirende Mitglied der physikalisch-mathematischen Classe Hr. Franz Mertens in Wien hat am 7. November das fünfzigjährige Doctorjubiläum gefeiert; aus diesem Anlass hat ihm die Akademie eine Adresse gewidmet, die weiter unten abgedruckt ist.

3. Folgende Druckschriften wurden vorgelegt: Lief. 42 des »Tierreich«, enthaltend die Serphidae und die Calliceratidae, bearb. von J. J. Kieffer (Berlin 1914); Bd. 16 der Kant-Ausgabe (Handschriftlicher Nachlaß Bd. 3) (Berlin 1914); Corpus Medicorum Graecorum XI 2,1: Pseudogaleni in Hippocratis de septimanis commentarium ab Hunaino q. f. arabice versum ed. G. Bergstraesser (Lipsiae et Berolini 1914); Monumenta Germaniae historica. Poetae latini medii aevi. Tom. 4, Pars 2,1 (Berolini 1914) und H. Bücking, Geologische Übersichtskarte der Rhön (Berlin 1914), mit Unterstützung der Humboldt-Stiftung bearbeitet.

Das correspondirende Mitglied der physikalisch-mathematischen Classe August Weismann in Freiburg i. Br. ist am 5. November verstorben.

Adresse an Hrn. Franz Mertens zum fünfzigjährigen Doktorjubiläum am 7. November 1914.

Hochverehrter Herr Kollege!

Zu Ihrem goldenen Doktorjubiläum bringt Ihnen die Königliche Akademie der Wissenschaften, der Sie seit geraumer Zeit als korrespondierendes Mitglied angehören, ihre herzlichsten Glückwünsche dar.

An diesem Tage gedenken Sie der Förderung, die Sie Ihren großen Lehrern Kummer, Weierstrass und Kronecker verdanken, gedenken Sie der Anregung, die Ihnen neben den Vorlesungen das Studium der Abhandlungen Dirichlets brachte, insbesondere seine Untersuchungen über mehrfache Integrale. Dieser ausgezeichnete Lehrer fand neben den tiefen Forschungen, die ihn beschäftigten, immer noch Zeit, fremde Entwicklungen seinen Schülern zugänglicher zu machen.

Dasselbe kann man in noch höherem Maße von Ihnen sagen. Es gibt eine große Anzahl mathematischer Entwicklungen, die der Leser allenfalls studieren und verstehen kann, die aber dem Vortrag die größten Hindernisse entgegensetzen. Gerade solche Schwierigkeiten zu überwinden, hat Ihnen immer besonderen Reiz gewährt. Wir erinnern an die Reduktion der indefiniten binären quadratischen Formen, die Lehre von der Komposition, die Entstehung der Klassen des Hauptgeschlechts durch Duplikation, die Sie ohne Hilfe der ternären Formen bewiesen, die Bestimmung des Vorzeichens der Gaussischen Summen, die wunderbar einfachen Beweise für die Irreduzibilität der Kreisteilungsgleichungen, die Sie auf die Lemniskatenteilung ausdehnten, vor allem aber an die Primzahlen in einer arithmetischen Progression. Wie Sie hier, ohne Benutzung des Reziprozitätsgesetzes, zeigen, daß die in dem Beweise auftretenden Dirichletschen Reihen nicht verschwinden, gehört zu Ihren glänzendsten Leistungen.

Wenn Sie die kurze Würdigung Ihrer Arbeiten, zu der uns dieser Gedenktag den Anlaß gibt, vielleicht etwas einseitig finden, so liegt das an der überwältigenden Fülle und Mannigfaltigkeit Ihrer Gaben, aus denen sich jeder das aussucht, was ihm besonders zusagt. Daß es schwer hält, in der Reihe Ihrer Produktionen einen leitenden Faden zu finden, hat wohl seinen Grund darin, daß Sie zu den meisten die Anregungen

aus Ihren Vorlesungen geschöpft haben. Aus elementaren Vorlesungen stammen Ihre Untersuchungen über die Malfattische und die Apolloniussche Aufgabe, über geometrische Anwendungen der Determinantentheorie, über das größte Tetraeder bei gegebenen Seitenflächen, Ihre schöne Bemerkung über die Multiplikation von zwei unendlichen Reihen, von denen nur die eine unbedingt konvergent ist. Aus einer Vorlesung über Algebra stammen Untersuchungen über symmetrische Funktionen, über Elimination und Resultantenbildung, Beweise für die Existenz der Wurzeln algebraischer Gleichungen.

An allen wichtigen Fragen, die während der verflossenen fünfzig Jahre die Mathematiker beschäftigten, haben Sie regen Anteil genommen. Die in Kroneckers Festschrift gegebene Begründung der Idealtheorie, seine Ergebnisse über die zyklischen Gleichungen und über die singulären Moduln der elliptischen Funktionen regten Sie zu zahlreichen eigenen Forschungen an. Nachdem Sie sich lange mit der Theorie der Invarianten und Kovarianten beschäftigt hatten, wendeten Sie sich immer mehr der Zahlentheorie zu. Neben der Idealtheorie pflegten Sie auch die analytische Zahlentheorie, handelten von der Verteilung der Primzahlen und bestimmten nach dem Vorgange von Dirichlet die asymptotischen Gesetze für gewisse Ausdrücke, die mittels der Primzahlen gebildet sind.

So können Sie heute als Lehrer und als Forscher auf eine reiche Wirksamkeit zurücksehen. Ihre geistreichen, scharfsinnigen, aus neuen Gedanken entsprungenen Untersuchungen haben die Anfänger über manche Klippe hinweggeholfen und allen Freunden der Mathematik einen besonders erlesenen Genuß bereitet.

Die Königlich Preußische Akademie der Wissenschaften.

Die formale Grundlage der allgemeinen Relativitätstheorie.

Von A. Einstein.

(Vorgelegt am 29. October 1914 [s. oben S. 965].)

In den letzten Jahren habe ich, zum Teil zusammen mit meinem Freunde Grossmann, eine Verallgemeinerung der Relativitätstheorie ausgearbeitet. Als heuristische Hilfsmittel sind bei jenen Untersuchungen in bunter Mischung physikalische und mathematische Forderungen verwendet, so daß es nicht leicht ist, an Hand jener Arbeiten die Theorie vom formal mathematischen Standpunkte aus zu übersehen und zu charakterisieren. Diese Lücke habe ich durch die vorliegende Arbeit in erster Linie ausfüllen wollen. Es gelang insbesondere, die Gleichungen des Gravitationsfeldes auf einem rein kovarianten-theoretischen Wege zu gewinnen (Abteilung D). Auch suchte ich einfache Ableitungen für die Grundgesetze des absoluten Differentialkalkuls zu geben, die zum Teil neu sein dürften (Abteilung B), um dem Leser ein vollständiges Erfassen der Theorie ohne die Lektüre anderer, rein mathematischer Abhandlungen zu ermöglichen. Um die mathematischen Methoden zu illustrieren, habe ich die (Eulerschen) Gleichungen der Hydrodynamik und die Feldgleichungen der Elektrodynamik bewegter Körper abgeleitet (Abteilung C). Im Abschnitt E ist gezeigt, daß Newtons Gravitationstheorie sich aus der allgemeinen Theorie als Näherung ergibt; auch sind dort die elementarsten, für die vorliegende Theorie, charakteristischen Eigenschaften des Newtonschen (statischen) Gravitationsfeldes (Lichtstrahlenkrümmung, Verschiebung der Spektrallinien) abgeleitet.

A. Grundgedanke der Theorie.

§1. Einleitende Überlegungen.

Der ursprünglichen Relativitätstheorie liegt die Voraussetzung zugrunde, daß für die Beschreibung der Naturgesetze alle Koordinatensysteme gleichberechtigt seien, die relativ zueinander in gleichförmiger Translationsbewegung sind. Vom Standpunkte der Erfahrung aus, er-

hält diese Theorie ihre Hauptstütze in der Tatsache, daß wir beim Experimentieren auf der Erde absolut nichts davon merken, daß die Erde sich mit erheblicher Geschwindigkeit um die Sonne bewegt.

Aber das Vertrauen, welches wir der Relativitätstheorie entgegenbringen, hat noch eine andere Wurzel. Man verschließt sich nämlich nicht leicht folgender Erwägung. Wenn K' und K zwei relativ zueinander in gleichförmiger Translationsbewegung befindliche Koordinatensysteme sind, so sind diese Systeme vom kinematischen Standpunkt aus vollkommen gleichwertig. Wir suchen deshalb vergeblich nach einem zureichenden Grunde dafür, warum eins dieser Systeme geeigneter sein sollte, bei der Formulierung der Naturgesetze als Bezugssystem zu dienen, als das andere; wir fühlen uns vielmehr dazu gedrängt, die Gleichberechtigung beider Systeme zu postulieren.

Dies Argument fordert aber sofort ein Gegenargument heraus. Die kinematische Gleichberechtigung zweier Koordinatensysteme ist nämlich durchaus nicht auf den Fall beschränkt, daß die beiden ins Auge gefaßten Koordinatensysteme K und K' sich in gleichförmiger Translationsbewegung gegeneinander befinden. Diese Gleichberechtigung vom kinematischen Standpunkt aus besteht z. B. ebensogut, wenn die Systeme relativ zueinander gleichförmig rotieren. Man fühlt sich daher zu der Annahme gedrängt, daß die bisherige Relativitätstheorie in weitgehendem Maße zu verallgemeinern sei, derart, daß die ungerecht scheinende Bevorzugung der gleichförmigen Translation gegenüber Relativbewegungen anderer Art aus der Theorie verschwindet. Dies Bedürfnis nach einer derartigen Erweiterung der Theorie muß jeder empfinden, der sich eingehend mit dem Gegenstande befaßt hat.

Zunächst scheint es nun allerdings, daß eine derartige Erweiterung der Relativitätstheorie aus physikalischen Gründen abzulehnen sei. Es sei nämlich K ein im Galilei-Newtonschen Sinne berechtigtes Koordinatensystem, K' ein relativ zu K gleichförmig rotierendes Koordinatensystem. Dann wirken auf relativ zu K' ruhende Massen Zentrifugalkräfte, während auf relativ zu K ruhende Massen solche nicht wirken. Hierin sah bereits Newton einen Beweis dafür, daß man die Rotation von K' als eine »absolute« aufzufassen habe, daß man also K' nicht mit demselben Rechte wie K als »ruhend« behandeln könne. Dies Argument ist aber — wie insbesondere E. Mach ausgeführt hat — nicht stichhaltig. Die Existenz jener Zentrifugalkräfte brauchen wir nämlich nicht notwendig auf eine Bewegung von K' zurückzuführen; wir können sie vielmehr ebensogut zurückführen auf die durchschnittliche Rotationsbewegung der ponderabeln fernen Massen der Umgebung in bezug auf K', wobei wir K' als »ruhend« behandeln. Lassen die

Newtonschen Gesetze der Mechanik und Gravitation eine solche Auffassung nicht zu, so kann dies sehr wohl in Mängeln dieser Theorie begründet sein. Für die relativistische Auffassung spricht anderseits folgendes wichtige Argument. Die Zentrifugalkraft, welche unter gegebenen Verhältnissen auf einen Körper wirkt, wird genau durch die gleiche Naturkonstante desselben bestimmt wie die Wirkung eines Schwerefeldes auf denselben, derart, daß wir gar kein Mittel haben, ein »Zentrifugalfeld« von einem Schwerefeld zu unterscheiden. So messen wir als Gewicht eines Körpers an der Erdoberfläche immer eine Superposition von Wirkungen von Feldern der beiden genannten Arten, ohne diese Wirkungen trennen zu können. Dadurch gewinnt die Auffassung durchaus an Berechtigung, daß wir das rotierende System K' als ruhend und das Zentrifugalfeld als ein Gravitationsfeld auffassen dürfen. Es erinnert diese Auffassung an diejenige der ursprünglichen (spezielleren) Relativitätstheorie, daß man die auf eine in einem Magnetfelde bewegte elektrische Masse wirkende ponderomotorische Kraft auch auffassen kann als die Einwirkung desjenigen elektrischen Feldes, welches vom Standpunkte eines mit der Masse bewegten Bezugssystems am Orte der Masse vorhanden ist.

Aus dem Gesagten geht schon hervor, daß in einer im angedeuteten Sinne erweiterten Relativitätstheorie die Gravitation eine fundamentale Rolle spielen muß; denn geht man von einem Bezugssystem K durch bloße Transformation zu einem Bezugssystem K' über, so existiert in bezug auf K' ein Gravitationsfeld, ohne daß in bezug auf K ein solches vorhanden zu sein braucht.

Es erhebt sich nun naturgemäß die Frage, was für Bezugssysteme und Transformationen wir in einer verallgemeinerten Relativitätstheorie als »berechtigte« anzusehen haben. Diese Frage wird sich jedoch erst viel später beantworten lassen (Abschnitt D). Einstweilen stellen wir uns auf den Standpunkt, daß alle Koordinatensysteme und Transformationen zuzulassen seien, die mit den bei physikalischen Theorien stets vorausgesetzten Bedingungen der Stetigkeit vereinbar sind. Es wird sich zeigen, daß die Relativitätstheorie einer sehr weitgehenden, von Willkür nahezu freien Verallgemeinerung fähig ist.

§ 2. Das Gravitationsfeld.

Nach der ursprünglichen Relativitätstheorie bewegt sich ein materieller Punkt, der weder Gravitationskräften noch sonstigen Kräften unterworfen ist, geradlinig und gleichförmig gemäß der Formel

$$\delta\left\{\int ds\right\} = 0\,. \tag{1}$$

wobei

$$ds^2 = -\sum_\nu dx_\nu^2 \qquad (2)$$

gesetzt ist. Dabei ist $x_1 = x$, $x_2 = y$, $x_3 = z$, $x_4 = idt$ gesetzt. ds ist das Differential der »Eigenzeit«, d. h. diese Größe gibt den Betrag an, um welchen die Angabe einer mit dem materiellen Punkt bewegten Uhr auf dem Wegelement (dx, dy, dz) vorschreitet. Die Variation in (1) ist dabei so zu bilden, daß die Koordinaten x_ν in den Endpunkten der Integration unvariiert bleiben.

Führt man nun eine beliebige Koordinatentransformation aus, so bleibt Gleichung (1) bestehen, während an Stelle von (2) die allgemeinere Form

$$ds^2 = \sum_{\mu\nu} g_{\mu\nu}\, dx_\mu\, dx_\nu \qquad (2a)$$

tritt. Die 10 Größen $g_{\mu\nu}$ sind dabei Funktionen von den x_ν, welche durch die angewandte Substitution bestimmt sind. Physikalisch bestimmen die $g_{\mu\nu}$ das in bezug auf das neue Koordinatensystem vorhandene Gravitationsfeld, wie aus den Überlegungen des vorigen Paragraphen hervorgeht. (1) und (2a) bestimmen daher die Bewegung eines materiellen Punktes in einem Gravitationsfelde, das bei passender Wahl des Bezugssystems verschwindet. Wir wollen aber verallgemeinernd annehmen, daß auch sonst die Bewegung des materiellen Punktes im Gravitationsfelde stets nach diesen Gleichungen erfolge.

Den Größen $g_{\mu\nu}$ kommt noch eine zweite Bedeutung zu. Wir können nämlich immer setzen

$$ds^2 = \sum_{\mu\nu} g_{\mu\nu}\, dx_\mu\, dx_\nu = -\sum_\nu dX_\nu^2, \qquad (2b)$$

wobei die dX_ν allerdings keine vollständigen Differentiale sind. Diese Größen dX_ν können aber doch im Unendlichkleinen als Koordinaten verwendet werden. Es liegt deshalb die Annahme nahe, daß im Unendlichkleinen die ursprüngliche Relativitätstheorie gelte. Die dX_ν sind dann die mit Einheitsmaßstäben und einer passend gewählten Einheitsuhr unmittelbar zu messenden Koordinaten in einem unendlich kleinen Gebiete. Die Größe ds^2 ist in diesem Sinne als der natürlich gemessene Abstand zweier Raum-Zeit-Punkte zu bezeichnen. Dagegen können die dx_ν nicht in gleicher Weise durch Messung mit starren Körpern und Uhren direkt gewonnen werden. Sie hängen vielmehr mit dem natürlich gemessenen Abstand ds zusammen in einer gemäß (2b) durch die Größen $g_{\mu\nu}$ bestimmten Weise.

Nach dem Gesagten ist ds eine von der Wahl des Koordinatensystems unabhängig definierbare Größe, d. h. ein Skalar. ds spielt in

der allgemeinen Relativitätstheorie dieselbe Rolle wie das Element der Weltlinie in der ursprünglichen Relativitätstheorie.

Im folgenden sollen die wichtigsten Sätze des absoluten Differentialkalkuls abgeleitet werden, die in unserer Theorie an die Stelle der Sätze der gewöhnlichen Vektoren- und Tensorentheorie der dreidimensionalen bzw. vierdimensionalen Vektorrechnung (die sich auf das euklidische Element ds bezieht) treten; mit Hilfe jener Sätze können die Gesetze der allgemeinen Relativitätstheorie, welche bekannten Gesetzen der ursprünglichen Relativitätstheorie entsprechen, ohne Schwierigkeit abgeleitet werden.

B. Aus der Theorie der Kovarianten.

§ 3. Vierervektoren.

Kovarianter Vierervektor. Vier Funktionen A_ν der Koordinaten, welche für jedes beliebige Koordinatensystem definiert sind, nennt man dann einen kovarianten Vierervektor oder einen kovarianten Tensor ersten Ranges, wenn für ein beliebig gewähltes Linienelement mit den Komponenten dx_ν die Summe

$$\sum_\nu A_\nu dx_\nu = \phi \tag{3}$$

beliebigen Koordinatentransformationen gegenüber eine Invariante (Skalar) ist. Die Größen A_ν nennt man die »Komponenten« des Vierervektors.

Das Transformationsgesetz für diese Komponenten folgt unmittelbar aus dieser Definition. Beziehen sich nämlich die Zeichen A'_ν, dx'_ν auf denselben Punkt des Kontinuums, aber auf ein beliebig gewähltes anderes Koordinatensystem, so ist

$$\sum_\nu A'_\nu dx'_\nu = \sum_\alpha A_\alpha dx_\alpha = \sum_{\alpha\nu} A_\alpha \frac{\partial x_\alpha}{\partial x'_\nu} dx'_\nu .$$

Da die Gleichung für beliebig gewählte dx'_ν gelten soll, so folgt das gesuchte Transformationsgesetz:

$$A'_\nu = \sum_\alpha \frac{\partial x^\alpha}{\partial x'_\nu} A^\alpha . \tag{3a}$$

Umgekehrt ist leicht zu zeigen, daß aus der Gültigkeit dieses Transformationsgesetzes folgt, daß A_ν ein kovarianter Vierervektor ist.

Kontravarianter Vierervektor. Vier Funktionen A^ν der Koordinaten, welche für jedes beliebige Koordinatensystem definiert sind, nennt man dann einen kontravarianten Vierervektor oder einen kontravarianten Tensor ersten Ranges, wenn das Transformationsgesetz

der A_ν dasselbe ist wie dasjenige für die Komponenten dx_ν des Linienelementes. Hieraus folgt als Transformationsgesetz:

$$A^{\sigma\prime} = \sum_\nu \frac{\partial x'_\sigma}{\partial x_\nu} A^\nu. \tag{4}$$

Wir deuten im Anschluß an RICCI und LEVI-CIVITA den kontravarianten Charakter dadurch an, daß wir den Index oben anbringen. Natürlich sind gemäß dieser Definition die dx_ν selbst Komponenten eines kontravarianten Vierervektors; trotzdem wollen wir hier, der Gewohnheit zuliebe, den Index unten belassen.

Aus den beiden gegebenen Definitionen folgt unmittelbar, daß der Ausdruck

$$\sum_\nu A_\nu A^\nu = \Phi \tag{3b}$$

ein Skalar (Invariante) ist. Wir nennen Φ das innere Produkt des kovarianten Vektors (A_ν) und des kontravarianten Vektors (A^ν).

Daraus, daß die Transformationsgleichungen (3a) und (4) linear in den Vektorkomponenten sind, folgt, daß man aus zwei kovarianten bzw. kontravarianten Vierervektoren wieder einen kovarianten bzw. kontravarianten Vierervektor erhält, indem man die entsprechenden Komponenten addiert (oder subtrahiert).

§ 4. Tensoren zweiten und höheren Ranges.

Kovarianter Tensor zweiten und höheren Ranges. 16 Funktionen $A_{\mu\nu}$ der Koordinaten bezeichnet man dann als Komponenten eines kovarianten Tensors zweiten Ranges, wenn die Summe

$$\sum_{\mu\nu} A_{\mu\nu} dx_\mu^{(1)} dx_\nu^{(2)} = \Phi \tag{5}$$

ein Skalar ist; $dx_\mu^{(1)}$ und $dx_\nu^{(2)}$ bezeichnen dabei die Komponenten zweier beliebig gewählter Linienelemente.

Aus der hieraus fließenden Relation

$$\sum_{\mu\nu} A'_{\mu\nu} dx_\mu^{(1)\prime} dx_\nu^{(2)\prime} = \sum_{\alpha\beta} A_{\alpha\beta} dx_\alpha^{(1)} dx_\beta^{(2)} = \sum_{\alpha\beta\mu\nu} \frac{dx_\alpha}{dx'_\mu} \frac{dx_\beta}{dx'_\nu} A_{\alpha\beta} dx_\mu^{(1)\prime} dx_\nu^{(2)\prime}$$

folgt mit Rücksicht darauf, daß dieselbe für beliebig gewählte $dx_\mu^{(1)\prime}$ und $dx_\nu^{(2)\prime}$ gelten soll; die 16 Gleichungen:

$$A'_{\mu\nu} = \sum_{\alpha\beta} \frac{\partial x_\alpha}{\partial x'_\mu} \frac{\partial x_\beta}{\partial x'_\nu} A_{\alpha\beta}. \tag{5a}$$

Diese Gleichung ist wieder obiger Definition äquivalent.

Es ist klar, daß in analoger Weise auch kovariante Tensoren dritten und höheren Ranges definiert werden können.

Symmetrischer kovarianter Tensor. Erfüllt ein kovarianter Tensor für ein Koordinatensystem die Bedingung, daß die Werte zweier seiner Komponenten, welche einer bloßen Vertauschung von Indizes einander entsprechen, einander gleich sind ($A_{\alpha\beta} = A_{\beta\alpha}$), so gilt dies, wie ein Blick auf Gleichung (5a) zeigt, auch für jedes andere Koordinatensystem. Dann reduzieren sich beim kovarianten Tensor zweiten Ranges die 16 Transformationsgleichungen auf 10. In dem Falle, daß $A_{\mu\nu} = A_{\nu\mu}$ ist, genügt zum Beweise des Tensorcharakters von ($A_{\mu\nu}$) der Nachweis, daß

$$\sum_{\mu\nu} A_{\mu\nu} dx_\mu dx_\nu = \Phi \tag{5c}$$

ein Skalar sei. Es folgt dies aus der Identität

$$\sum_{\mu\nu} A'_{\mu\nu} dx'_\mu dx'_\nu = \sum_{\alpha\beta} A_{\alpha\beta} dx_\alpha dx_\beta = \sum_{\alpha\beta\mu\nu} A_{\alpha\beta} \frac{\partial x_\alpha}{\partial x'_\mu} \frac{\partial x_\beta}{\partial x'_\nu} dx'_\mu dx'_\nu$$

mit Rücksicht auf (5a).

Symmetrische kovariante Tensoren höheren Ranges lassen sich ganz analog definieren.

Kovarianter Fundamentaltensor. In der zu entwickelnden Theorie spielt die Größe

$$ds^2 = \sum g_{\mu\nu} dx_\mu dx_\nu \,,$$

welche wir als Quadrat des Linienelementes bezeichnen wollen, eine besondere Rolle. Aus dem Vorigen geht hervor, daß $g_{\mu\nu}$ ein kovarianter (symmetrischer) Tensor zweiten Ranges ist. Wir wollen ihn als »kovarianten Fundamentaltensor« bezeichnen.

Bemerkung. Wir hätten den kovarianten Tensor auch definieren können als einen Inbegriff von 16 Größen $A_{\mu\nu}$, die sich ebenso transformieren wie die 16 Produkte $A_\mu B_\nu$ zweier kovarianter Vektoren (A_μ) und (B_ν). Setzt man

$$A_{\mu\nu} = A_\mu B_\nu \,, \tag{6}$$

so folgt aus (3a) sofort

$$A'_{\mu\nu} = A'_\mu B'_\nu = \sum_{\alpha\beta} \frac{\partial x_\alpha}{\partial x'_\mu} \frac{\partial x_\beta}{\partial x'_\nu} A_\alpha B_\beta = \sum_{\alpha\beta} \frac{\partial x_\alpha}{\partial x'_\mu} \frac{\partial x_\beta}{\partial x'_\nu} A_{\alpha\beta} \,,$$

woraus mit Rücksicht auf (5a) folgt, daß $A_{\mu\nu}$ ein kovarianter Tensor ist. Ganz Entsprechendes gilt für Tensoren höheren Ranges. Allerdings ist nicht jeder kovariante Tensor in dieser Form darstellbar, da ($A_{\mu\nu}$) 16 Komponenten besitzt, A_μ und B_ν zusammen nur 8 Kompo-

nenten; es bestehen also zwischen den $A_{\mu\nu}$ auf Grund von (6) algebraische Beziehungen, welche Tensorkomponenten im allgemeinen nicht erfüllen. Man gelangt jedoch zu einem beliebigen Tensor, indem man mehrere Tensoren vom Typus der Gleichung (6) addiert[1], indem man setzt

$$A_{\mu\nu} = A_\mu B_\nu + C_\mu D_\nu + \cdots \tag{6a}$$

Analog verhält es sich bei kovarianten Tensoren höheren Ranges. Diese Darstellung von Tensoren aus Vierervektoren erweist sich für den Beweis vieler Sätze als nützlich. Eine analoge Bemerkung gilt für kovariante Tensoren höheren Ranges.

Kontravariante Tensoren. Analog wie sich kovariante Tensoren aus kovarianten Vierervektoren gemäß (6) bzw. (6a) bilden lassen, lassen sich auch kontravariante Tensoren aus kontravarianten Vierervektoren bilden gemäß den Gleichungen

$$A^{\mu\nu} = A^\mu B^\nu \tag{7}$$

bzw.

$$A^{\mu\nu} = A^\mu B^\nu + C^\mu D^\nu + \cdots \tag{7a}$$

Aus dieser Definition folgte sogleich nach (4) das Transformationsgesetz

$$A^{\mu\nu\prime} = \sum_{\alpha\beta} \frac{\partial x'_\mu}{\partial x_\alpha} \frac{\partial x'_\nu}{\partial x_\beta} A^{\alpha\beta}. \tag{8}$$

Analog gestaltet sich die Definition von kontravarianten Tensoren höheren Ranges. Genau wie oben ist hier der Spezialfall des symmetrischen Tensors besonders zu beachten.

Gemischte Tensoren. Es lassen sich auch Tensoren (zweiten und höheren) Ranges bilden, die bezüglich gewisser Indizes kovarianten, bezüglich anderer kontravarianten Charakter haben; man nennt sie gemischte Tensoren. Ein gemischter Tensor zweiten Ranges ist z. B.

$$A^\nu_\mu = A_\mu B^\nu + C_\mu D^\nu. \tag{9}$$

Antisymmetrische Tensoren. Außer den symmetrischen kovarianten und kontravarianten Tensoren spielen die sogenannten antisymmetrischen kovarianten und kontravarianten Tensoren eine wichtige Rolle. Sie sind dadurch ausgezeichnet, daß Komponenten, die durch Vertauschung zweier Indizes auseinander hervorgehen, entgegengesetzt gleich sind. Wenn z. B. der kontravariante Tensor $A^{\mu\nu}$ die Bedingung $A^{\mu\nu} = -A^{\nu\mu}$ erfüllt, so nennt man ihn einen antisymmetrischen

[1] Es ist klar, daß durch Addition entsprechender Komponenten eines Tensors wieder Komponenten eines Tensors entstehen, wie dies für den Tensor ersten Ranges (Vierervektor) gezeigt wurde (Addition und Subtraktion von Tensoren).

kontravarianten Tensor zweiten Ranges oder Sechservektor (weil er 12 von Null verschiedene Komponenten hat, die zu je zweien den gleichen absoluten Betrag haben. Der kontravariante Tensor dritten Ranges $A^{\mu\nu\lambda}$ ist antisymmetrisch, wenn die Bedingungen erfüllt sind

$$A^{\mu\nu\lambda} = -A^{\mu\lambda\nu} = -A^{\nu\mu\lambda} = A^{\nu\lambda\mu} = -A^{\lambda\nu\mu} = A^{\lambda\mu\nu}.$$

Man erkennt, daß es (in einem Kontinuum von 4 Dimensionen) nur 4 numerisch von Null verschiedene Komponenten dieses antisymmetrischen Tensors gibt.

Daß diese Definition eine von der Wahl des Bezugssystems unabhängige Bedeutung besitzt, beweist man leicht aus Formel (5a) bzw. (8). So ist z. B. gemäß (5a)

$$A'_{\nu\mu} = \sum_{\alpha\beta} \frac{\partial x_\alpha}{\partial x'_\nu} \frac{\partial x_\beta}{\partial x'_\mu} A_{\alpha\beta}.$$

Ersetzt man $A_{\alpha\beta}$ durch $-A_{\beta\alpha}$ (was gemäß der Voraussetzung gestattet ist) und vertauscht man hierauf in der Doppelsumme die Summationsindizes β und α, so hat man

$$A'_{\nu\mu} = -\sum_{\alpha\beta} \frac{\partial x_\alpha}{\partial x'_\mu} \frac{\partial x_\beta}{\partial x'_\nu} A_{\alpha\beta} = -A'_{\mu\nu},$$

gemäß der Behauptung. Analog ist der Beweis für kontravariante Tensoren und für Tensoren dritten und vierten Ranges. Antisymmetrische Tensoren höheren als vierten Ranges kann es in einem vierdimensionalen Kontinuum nicht geben, weil alle Komponenten verschwinden, für welche zwei Indizes gleich sind.

§ 5. Multiplikation der Tensoren.

Äußeres Produkt von Tensoren. Wir haben gesehen (vgl. Gleichungen (6), (8) und (9)), daß man durch Multiplizieren der Komponenten von Tensoren ersten Ranges die Komponenten von Tensoren höheren Ranges erhält. Analog können wir Tensoren höheren Ranges aus solchen niedrigeren Ranges durch Multiplizieren aller Komponenten des einen Tensors mit denen des anderen stets herleiten. Sind beispielsweise $(A_{\alpha\beta})$ und $(B_{\lambda\mu\nu})$ kovariante Tensoren, so ist auch $(A_{\alpha\beta} \cdot B_{\lambda\mu\nu})$ ein kovarianter Tensor (fünften Ranges). Der Beweis ergibt sich sofort aus der Darstellbarkeit der Tensoren durch Summe von Produkten von Vierervektoren:

$$A_{\alpha\beta} = \sum A_\alpha^{(1)} A_\beta^{(2)},$$

$$B_{\lambda\mu\nu} = \sum B_\lambda^{(1)} B_\mu^{(2)} B_\nu^{(3)},$$

$$\text{also } A_{\alpha\beta} B_{\lambda\mu\nu} = \sum A_\alpha^{(1)} A_\beta^{(2)} B_\lambda^{(1)} B_\mu^{(2)} B_\nu^{(3)};$$

also ist $(A_{\alpha\beta} B_{\lambda\mu\nu})$ ein Tensor fünften Ranges.

Man nennt diese Operation »äußere Multiplikation«, das Resultat »äußeres Produkt« der Tensoren. Man sieht, daß es bei dieser Operation auf Charakter und Rang der zu »multiplizierenden« Tensoren nicht ankommt. Es gilt ferner das kommutative und das assoziative Gesetz für eine Sukzession solcher Operationen.

Inneres Produkt von Tensoren. Die in Formel (3b) angegebene, mit den Tensoren ersten Ranges A_ν und A^ν vorgenommene Operation nennt man »innere Multiplikation«, das Resultat »inneres Produkt«. Diese Operation läßt sich infolge der Darstellbarkeit von Tensoren höheren Ranges aus Vierervektoren leicht auf Tensoren erweitern.

Ist z. B. $A_{\alpha\beta\gamma\ldots}$ ein kovarianter, $A^{\alpha\beta\gamma\ldots}$ ein kontravarianter Tensor vom gleichen Range, so ist

$$\sum_{\alpha\beta\gamma} (A_{\alpha\beta\gamma\ldots} A^{\alpha\beta\gamma\ldots}) = \Phi$$

ein Skalar. Der Beweis ergibt sich unmittelbar, wenn man setzt

$$A_{\alpha\beta\gamma\ldots} = \sum A_\alpha B_\beta C_\gamma \cdots$$
$$A^{\alpha\beta\gamma\ldots} = \sum A^\alpha B^\beta C^\gamma \cdots,$$

hierauf ausmultipliziert und (3b) berücksichtigt.

Gemischtes Produkt von Tensoren. Die allgemeinste Multiplikation von Tensoren erhält man, wenn man letztere nach gewissen Indizes äußerlich, nach andern innerlich multipliziert. Aus den Tensoren A und B erhält man einen Tensor C gemäß folgendem Schema

$$\sum_{\alpha\beta\gamma\ldots\alpha'\beta'\gamma'} (A^{\alpha'\beta'\gamma'\ldots\lambda\mu\nu\ldots}_{\alpha\beta\gamma\ldots\varrho\sigma\tau\ldots} B^{\alpha\beta\gamma\ldots lmn\ldots}_{\alpha'\beta'\gamma'\ldots rst\ldots}) = C^{\lambda\mu\nu\ldots lmn\ldots}_{\varrho\sigma\tau\ldots rst\ldots} .$$

Der Beweis dafür, daß C ein Tensor ist, ergibt sich durch Kombination der beiden zuletzt angedeuteten Beweise.

§ 6. Über einige den Fundamentaltensor der $g_{\mu\nu}$ betreffende Beziehungen.

Der kontravariante Fundamentaltensor. Bildet man in dem Determinanten-Schema der $g_{\mu\nu}$ zu jedem $g_{\mu\nu}$ die Unterdeterminante und dividiert diese durch die Determinante $g = |g_{\mu\nu}|$ der $g_{\mu\nu}$, so erhält man gewisse Größen $g^{\mu\nu}$ $(= g^{\nu\mu})$, von denen wir beweisen wollen, daß sie einen kontravarianten symmetrischen Tensor bilden.

Aus dieser Definition und einem bekannten Determinantensatze folgt zunächst

$$\sum_\nu g_{\mu\nu} g^{\nu\tau} = \delta_\mu^\tau , \tag{10}$$

wobei δ_μ^ν die Größe 1 bzw. 0 bedeutet, je nachdem $\mu = \nu$ oder $\mu \neq \nu$ ist[1]. Es ist ferner

$$\sum_{\alpha\beta} g_{\alpha\beta} dx_\alpha dx_\beta$$

ein Skalar, den wir gemäß (10) gleich

$$\sum_{\alpha\beta\mu} g_{\mu\beta} \delta_\alpha^\mu dx_\alpha dx_\beta$$

und gleich

$$\sum_{\alpha\beta\mu\nu} g_{\mu\beta} g_{\nu\alpha} g^{\mu\nu} dx_\alpha dx_\beta$$

setzen können. Nun sind aber nach dem vorigen Paragraphen

$$d\xi_\mu = \sum_\beta g_{\mu\beta} dx_\beta$$

die Komponenten eines kovarianten Vektors, ebenso natürlich

$$d\xi_\nu = \sum_\alpha g_{\nu\alpha} dx_\alpha .$$

Unser Skalar nimmt demnach die Form an

$$\sum_{\mu\nu} g^{\mu\nu} d\xi_\mu d\xi_\nu .$$

Daraus, daß dies ein Skalar ist, die $d\xi_\mu$ ihrem Verhältnis nach beliebig zu wählende Komponenten eines kovarianten Vierervektors sind, und daß $g^{\mu\nu} = g^{\nu\mu}$ ist, läßt sich leicht beweisen, daß $g^{\mu\nu}$ ein kontravarianter Tensor ist.

Bemerkung. Nach dem Multiplikationssatz der Determinanten ist

$$\left| \sum_\alpha g_{\mu\alpha} g^{\alpha\nu} \right| = \left| g_{\mu\alpha} \right| \cdot \left| g^{\alpha\nu} \right| .$$

Anderseits ist

$$\left| \sum_\alpha (g_{\mu\alpha} g^{\alpha\nu}) \right| = \left| \delta_\mu^\nu \right| = 1 .$$

Hieraus folgt

$$\left| g_{\mu\nu} \right| \cdot \left| g^{\mu\nu} \right| = 1 . \tag{11}$$

Invariante des Volumens. Für die unmittelbare Umgebung eines Punktes unseres Kontinuums kann gemäß (2b) immer

$$ds^2 = \sum_{\mu\nu} g_{\mu\nu} dx_\mu dx_\nu = \sum_\nu dX_\nu^2 \tag{12}$$

gesetzt werden, falls man imaginäre Werte der dX_ν zuläßt. Für die Wahl des Systems der dX_ν gibt es noch unendlich viele Möglichkeiten; jedoch sind alle diese Systeme durch lineare orthogonale Sub-

[1] Nach dem vorigen Paragrahpen ist δ_μ^ν ein gemischter Tensor (»gemischter Fundamentaltensor«).

stitutionen verbunden. Daraus folgt, daß das über ein Volumelement erstreckte Integral

$$d\tau_0^* = \int dX_1 dX_2 dX_3 dX_4$$

eine Invariante, d. h. völlig unabhängig von jeder Koordinatenwahl ist.

Wir wollen für diese Invariante einen zweiten Ausdruck suchen. Es bestehen nun jedenfalls Beziehungen von der Form

$$dX_\sigma = \sum_\mu \alpha_{\sigma\mu} dx_\mu\,, \tag{13}$$

woraus folgt

$$d\tau_0^* = |\alpha_{\sigma\mu}|\, d\tau\,, \tag{14}$$

wenn mit $d\tau$ bzw. $d\tau_0^*$ das Integral

$$\int dx_1 \cdots dx_4 \text{ bzw. } \int dX_1 dX_2 dX_3 dX_4$$

erstreckt über dasselbe Elementargebiet bedeutet. Nach (12) und (13) ist ferner

$$g_{\mu\nu} = \sum_\sigma \alpha_{\sigma\mu} \alpha_{\sigma\nu} \tag{15}$$

und folglich nach dem Multiplikationssatz der Determinanten

$$|g_{\mu\nu}| = \left|\sum_\sigma (\alpha_{\sigma\mu}\alpha_{\sigma\nu})\right| = |\alpha_{\sigma\nu}|^2\,. \tag{16}$$

Mit Rücksicht hierauf erhält man aus (14)

$$\sqrt{g}\, d\tau = d\tau_0^*\,, \tag{17}$$

wobei der Kürze halber $|g_{\mu\nu}| = g$ gesetzt ist. Damit haben wir die gesuchte Invariante gefunden.

Bemerkung. Aus (12) geht hervor, daß die dX_ν den in der ursprünglichen Relativitätstheorie üblichen Koordinaten entsprechen. Von diesen sind drei reell, eine (z. B. dX_4) imaginär. $d\tau_0$ ist daher imaginär. Anderseits ist im Falle der ursprünglichen Relativitätstheorie die Determinante g bei reeller Zeitkoordinate negativ, da die $g_{\mu\nu}$ (bei passender Wahl der Zeiteinheit) die Werte

$$\left.\begin{matrix} -1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{matrix}\right\} \tag{18}$$

erhalten; $\sqrt{g}$ ist daher ebenfalls imaginär. Daß dies allgemein der Fall ist, wird in § 17 gezeigt. Um Imaginäre zu vermeiden, setzen wir

$$d\tau_0 = \frac{1}{i}\int dX_1 dX_2 dX_3 dX_4$$

und schreiben statt (17)

$$\sqrt{-g}\, d\tau = d\tau_0 \,. \tag{17a}$$

Der antisymmetrische Fundamentaltensor von Ricci und Levi-Civita. Wir behaupten, daß

$$G_{iklm} = \sqrt{g}\,\delta_{iklm} \tag{19}$$

ein kovarianter Tensor ist. δ_{iklm} bedeutet dabei $+1$ bzw. -1, je nachdem man 1 2 3 4 zu $iklm$ durch eine gerade oder ungerade Zahl von Indexvertauschungen gelangt.

Zum Beweise bemerken wir zunächst, daß die Determinante

$$\sum_{iklm} \delta_{iklm}\, dx_i^{(1)} dx_k^{(2)} dx_l^{(3)} dx_m^{(4)} = V \tag{20}$$

bis auf einen belanglosen Zahlenfaktor gleich dem Volumen des elementaren Pentaeders ist, dessen Ecken gebildet werden durch einen Punkt des Kontinuums und vier Endpunkte von willkürlichen Linienelementen $(dx_i^{(1)})$, (dx_k^{2}), (dx_l^{3}) und (dx_m^{4}), welche von diesem Punkt aus gezogen sind. Nach (19) und (2) ist

$$\sum_{iklm} G_{iklm}\, dx_i^{(1)} dx_k^{(2)} dx_l^{(3)} dx_m^{(4)} = \sqrt{g}\, V.$$

Da die rechte Seite dieser Gleichung nach (17) ein Skalar ist, so ist (G_{iklm}) ein kovarianter Tensor, und zwar wegen der Definitionseigenschaften von δ_{iklm} ein antisymmetrischer kovarianter Tensor.

Aus diesem bildet man leicht durch gemischte Multiplikation einen kontravarianten Tensor nach dem Schema

$$\sum_{\alpha\beta\lambda\mu} G_{\alpha\beta\lambda\mu}\, g^{\alpha i} g^{\beta k} g^{\lambda l} g^{\mu m} = G^{iklm}. \tag{21}$$

Der kontravariante Tensorcharakter ergibt sich unmittelbar aus § 4. Die linke Seite nimmt vermöge (19) die Form an

$$\sqrt{g}\sum_{\alpha\beta\lambda\mu} \delta_{\alpha\beta\lambda\mu}\, g^{\alpha i} g^{\beta k} g^{\lambda l} g^{\mu m},$$

was vermöge bekannter Determinantensätze gleich

$$\sqrt{g}\;\delta_{iklm} \sum \delta_{\alpha\beta\lambda\mu}\, g^{1\alpha} g^{2\beta} g^{3\lambda} g^{4\mu}$$

oder gemäß (11) gleich

$$\frac{1}{\sqrt{g}}\,\delta_{iklm}$$

ist. Damit ist bewiesen, daß

$$G^{iklm} = \frac{1}{\sqrt{g}} \delta_{iklm} \tag{21a}$$

ein kontravarianter antisymmetrischer Tensor ist.

Endlich spielt in der Theorie der allgemeinen antisymmetrischen Tensoren ein aus dem Fundamentaltensor der $g_{\mu\nu}$ gebildeter gemischter Tensor eine wichtige Rolle, dessen Komponenten sind

$$G_{ik}^{lm} = \sum_{\alpha\beta} \sqrt{g}\, \delta_{ik\alpha\beta}\, g^{\alpha l} g^{\beta m} = \sum_{\alpha\beta} \frac{1}{\sqrt{g}} \delta_{lm\alpha\beta}\, g_{\alpha i} g_{\beta k} \tag{22}$$

Der Tensor-Charakter dieser beiden Ausdrücke ist nach dem Vorigen und nach § 4 evident. Zu beweisen ist nur, daß sie einander gleich sind. Den letzten derselben können wir gemäß (21) und (19) auch in der Form bringen

$$\sum_{\lambda\mu\rho\sigma\alpha\beta} \sqrt{g}\, \delta_{\lambda\mu\rho\sigma}\, g^{\lambda l} g^{\mu m} g^{\rho\alpha} g^{\sigma\beta} g_{\alpha i} g_{\beta k},$$

woraus man durch Summation nach α und β mit Rücksicht auf (10) erhält

$$\sum_{\lambda\mu} \sqrt{g}\, \delta_{\lambda\mu ik}\, g^{\lambda l} g^{\mu m};$$

letzterer Ausdruck unterscheidet sich von dem ersten der in (22) gegebenen Ausdrücke nur durch die Bezeichnung der Summationsindizes und durch die (belanglose) Reihenfolge der Indexpaare $\lambda\mu$ und ik in $\delta_{\lambda\mu ik}$.

Aus (22) ist ersichtlich, daß der gemischte Tensor (G_{ik}^{lm}) sowohl der Indizes i, k, als auch bezüglich der Indizes lm antisymmetrisch ist.

Mit Hilfe des Fundamentaltensors können wir aus einem beliebigen Tensor in mannigfacher Weise Tensoren von anderem Charakter herstellen nach den im § 5 angegebenen Regeln. So können wir beispielsweise aus dem kovarianten Tensor $(T_{\mu\nu})$ den kontravarianten $(T^{\mu\nu})$ herstellen nach der Regel

$$T^{\mu\nu} = \sum_{\alpha\beta} T_{\alpha\beta}\, g^{\mu\alpha} g^{\beta\nu}, \tag{23}$$

während man umgekehrt hat:

$$T_{\mu\nu} = \sum_{\alpha\beta} T^{\alpha\beta} g_{\mu\alpha} g_{\beta\nu}. \tag{23a}$$

Die Gleichwertigkeit der Gleichungen (23) und (23a) ergibt sich leicht mit Hilfe von (10). Man nennt die Tensoren $(T^{\mu\nu})$ und $(T_{\mu\nu})$ »reziprok«. Ist einer von zwei reziproken Tensoren symmetrisch bzw. antisymmetrisch, so ist es, wie aus (23) bzw. (23a) hervorgeht, auch der andere. Dies gilt für Tensoren beliebigen Ranges.

Duale Sechservektoren. Ist ferner $(F^{\mu\nu})$ ein antisymmetrischer Tensor (zweiten Ranges), so können wir zu ihm einen zweiten antisymmetrischen Tensor $F^{\mu\nu *}$ bilden nach der Gleichung

$$F^{\mu\nu *} = \frac{1}{2} \sum_{\alpha\beta} G^{\mu\nu}_{\alpha\beta} F^{\alpha\beta} . \qquad (24)$$

Man nennt $F^{\mu\nu *}$ den zu $F^{\mu\nu}$ »dualen« kontravarianten Sechservektor. Umgekehrt ist $F^{\mu\nu}$ zu $F^{\mu\nu *}$ dual. Denn multipliziert man (24) mit $G^{\sigma\tau}_{\mu\nu}$, und summiert über μ und ν, so erhält man

$$\frac{1}{2} \sum G^{\sigma\tau}_{\mu\nu} F^{\mu\nu *} = \frac{1}{4} \sum_{\alpha\beta\mu\nu} G^{\sigma\tau}_{\mu\nu} G^{\mu\nu}_{\alpha\beta} F^{\alpha\beta} ;$$

da aber nach (22)

$$\sum_{\mu\nu} G^{\sigma\tau}_{\mu\nu} G^{\mu\nu}_{\alpha\beta} = \sum_{\mu\nu\lambda\varkappa\lambda'\varkappa'} \sqrt{g}\, \delta_{\mu\nu\lambda\varkappa} g^{\lambda\sigma} g^{\varkappa\tau} \frac{1}{\sqrt{g}} \delta_{\mu\nu\lambda'\varkappa'} g_{\lambda'\alpha} g_{\varkappa'\beta} = 2(\delta^{\sigma}_{\alpha} \delta^{\tau}_{\beta} - \delta^{\sigma}_{\beta} \delta^{\tau}_{\alpha}) ,$$

ist[1], so ergibt sich

$$\frac{1}{4} \sum_{\alpha\beta\mu\nu} G^{\sigma\tau}_{\mu\nu} G^{\mu\nu}_{\alpha\beta} F_{\alpha\beta} = \frac{1}{2} (F^{\sigma\tau} - F^{\tau\sigma}) = F^{\sigma\tau} ,$$

woraus die Behauptung folgt.

Ganz Entsprechendes gilt für kovariante Sechservektoren. Man beweist ferner leicht, daß Sechservektoren, welche zwei dualen reziprok sind, selbst dual sind.

§ 7. Geodätische Linie bzw. Gleichungen der Punktbewegung

In § 2 ist bereits dargelegt, daß die Bewegung eines materiellen Punktes im Gravitationsfelde nach der Gliederung

$$\delta \left\{ \int ds \right\} = 0 \qquad (1)$$

vor sich geht. Der Bewegung eines Punktes entspricht also vom mathematischen Standpunkte eine geodätische Linse in unserer vierdimensionalen Mannigfaltigkeit. Wir wollen der Vollständigkeit halber die

---

[1] Die zweite dieser Umformungen beruht darauf, daß $\delta_{\mu\nu\lambda\varkappa}$ nur dann nicht verschwindet, wenn alle Indizes verschieden sind. Es bleiben deshalb nur die beiden Möglichkeiten $(\lambda = \lambda', \varkappa = \varkappa')$ und $(\lambda = \varkappa', \varkappa = \lambda')$; mit Rücksicht darauf ergibt sich zunächst durch Summation über μ und ν der Ausdruck

$$2 \sum_{\lambda\varkappa} \left\{ g^{\lambda\sigma} g^{\varkappa\tau} g^{\lambda\alpha} g^{\varkappa\beta} - g^{\lambda\sigma} g^{\varkappa\tau} g^{\lambda\beta} g^{\varkappa\alpha} \right\} ,$$

wobei die Summe zunächst nur über solche Indexkombinationen $(\lambda\varkappa)$ zu erstrecken ist, für welche $\lambda \neq \varkappa$. Da aber die Klammer für $\lambda = \varkappa$ ohnehin verschwindet, so kann die Summe über alle Kombinationen erstreckt werden. Mit Rücksicht auf (10) ergibt sich hieraus der im Text angegebene Ausdruck.

wohlbekannte Ableitung der expliziten Gleichungen dieser Linie hier hersetzen.

Es handelt sich um eine zwischen zwei Punkten $P^{(1)}$ und $P^{(2)}$ verlaufende Linie, gegenüber der alle ihr unendlich benachbarten Linien, die durch dieselben genannten Punkte gehen, die Gleichung (1) erfüllen. Bezeichnet man mit λ eine Funktion der Koordinaten x_ν, so wird eine »Fläche« von konstanten λ auf allen diesen unendlich benachbarten Linien je einen Punkt herausschneiden, dessen Koordinaten bei gegebener Kurve als Funktionen von λ allein aufzufassen sind. Setzen wir

$$w^2 = \sum_{\mu\nu} g_{\mu\nu} \frac{dx_\mu}{d\lambda} \frac{dx_\nu}{d\lambda},$$

so können wir statt (1) setzen

$$\int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \delta w \, d\lambda = 0, \tag{1a}$$

da die Integrationsgrenzen λ_1 und λ_2 für alle betrachteten Kurven dieselben sind. Bezeichnet man mit δx_ν die Zuwächse, welche man den x_ν erteilen muß, um von einem Punkte der gesuchten geodätischen Linie zu dem zum gleichen Werte von λ gehörigen Punkte einer der variierten Linien zu gelangen, so hat man

$$\delta w = \frac{1}{w} \left\{ \frac{1}{2} \sum_{\mu\nu\sigma} \frac{\partial g_{\mu\nu}}{\partial x_\sigma} \frac{dx_\mu}{d\lambda} \frac{dx_\nu}{d\lambda} \delta x_\sigma + \sum_{\mu\nu} g_{\mu\nu} \frac{dx_\mu}{d\lambda} \delta \left(\frac{dx_\nu}{d\lambda} \right) \right\}.$$

Setzt man dies in (1a) ein, so erhält man, indem man das letzte Glied partiell integriert und dabei berücksichtigt, daß für $\lambda = \lambda_1$ und $\lambda = \lambda_2$ die δx_ν verschwinden

$$\int_{\lambda_1}^{\lambda_2} d\lambda \sum_\sigma (K_\sigma \delta x_\sigma) = 0,$$

wobei

$$K_\sigma = \sum_{\mu\nu} \left[\frac{d}{d\lambda} \left\{ \frac{g_{\mu\sigma}}{w} \frac{dx_\mu}{d\lambda} \right\} - \frac{1}{2w} \frac{\partial g_{\mu\nu}}{\partial x_\sigma} \frac{dx_\mu}{d\lambda} \frac{dx_\nu}{d\lambda} \right]$$

gesetzt ist. Es folgt hieraus, daß

$$K_\sigma = 0 \tag{23}$$

die Gleichung der geodätischen Linie ist.

In der ursprünglichen Relativitätstheorie entsprechen diejenigen geodätischen Linien, für welche $ds^2 > 0$ ist, der Bewegung materieller Punkte diejenigen, für welche $ds = 0$ ist, den Lichtstrahlen. Dies

wird auch in der verallgemeinerten Relativitätstheorie der Fall sein. Schließen wir den letzteren Fall ($ds = 0$) von der Betrachtung aus, so können wir als Parameter λ die auf der geodätischen Linie gemessene »Bogenlänge« s wählen. Dann geht die Gleichung der geodätischen Linie über in

$$\sum_{\mu} g_{\sigma\mu} \frac{d^2 x_\mu}{ds^2} + \sum_{\mu\nu} \begin{bmatrix} \mu\nu \\ \sigma \end{bmatrix} \frac{dx_\mu}{ds} \frac{dx_\nu}{ds} = 0, \qquad (23a)$$

wobei nach Christoffel die Abkürzung

$$\begin{bmatrix} \mu\nu \\ \sigma \end{bmatrix} = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial g_{\mu\sigma}}{\partial x_\nu} + \frac{\partial g_{\nu\sigma}}{\partial x_\mu} - \frac{\partial g_{\mu\nu}}{\partial x_\sigma} \right) \qquad (24)$$

eingeführt ist, welcher Ausdruck bezüglich der Indizes μ und ν symmetrisch ist. Endlich multipliziert man (23a) mit $g^{\sigma\tau}$ und summiert über σ. Mit Rücksicht auf (10) und bei Benutzung des bekannten Christoffelschen Symbols

$$\begin{Bmatrix} \mu\nu \\ \tau \end{Bmatrix} = \sum_{\sigma} g^{\sigma\tau} \begin{bmatrix} \mu\nu \\ \sigma \end{bmatrix} \qquad (24a)$$

erhält man dann an Stelle von (23a)

$$\frac{d^2 x_\tau}{ds^2} + \sum_{\mu\nu} \begin{Bmatrix} \mu\nu \\ \tau \end{Bmatrix} \frac{dx_\mu}{ds} \frac{dx_\nu}{ds} = 0. \qquad (23b)$$

Dies ist die Gleichung der geodätischen Linie in ihrer übersichtlichsten Form. Sie drückt die zweiten Ableitungen der x_τ nach s durch die ersten Ableitungen aus. Durch Differenzieren von (23b) nach s erhielte man Gleichungen, die auch eine Zurückführung der höheren Differenzialquotionenten bei Koordinaten nach s auf die ersten Ableitungen gestatten; man erhielte so die Koordinaten in Taylorscher Entwicklung nach den Variabeln s. Gleichung (23b) entspricht der Bewegungsgleichung des materiellen Punktes in Minkowskischer Form, indem s die »Eigenzeit« bedeutet.

§ 8. Bildung von Tensoren durch Differentiation.

Die fundamentale Bedeutung des Tensorbegriffes beruht bekanntlich darauf, daß die Transformationsgleichungen für die Tensorkomponenten linear und homogen sind. Dies bringt es mit sich, daß die Komponenten eines Tensors bezüglich eines jeden beliebigen Koordinatensystems verschwinden, falls sie bezüglich eines Koordinatensystems verschwinden. Hat man also eine Gruppe von physikalischen Gleichungen in eine Form gebracht, welche das Verschwinden aller Komponenten eines Tensors aussagt, so hat dieses Gleichungssytem

eine von der Wahl des Koordinatensystems unabhängige Bedeutung. Um derartige Tensorgleichungen aufstellen zu können, muß man die Gesetze kennen, nach denen aus gegebenen Tensoren neue gebildet werden können. Wie dies auf algebraischem Wege geschehen kann, ist bereits besprochen worden. Wir haben noch die Gesetze abzuleiten, gemäß welchen man durch Differentiation aus bekannten Tensoren neue bilden kann. Die Gesetze dieser Differentialbildungen sind bereits durch Christoffel und Ricci und Levi-Civita gegeben worden; ich gebe hier eine besonders einfache Ableitung für dieselben, welche neu zu sein scheint.

Alle Differentialoperationen an Tensoren lassen sich auf die sogenannte »Erweiterung« zurückführen. Diese ist im Falle der ursprünglichen Relativitätstheorie, d. h. in dem Falle, daß nur lineare, orthogonale Substitutionen als »berechtigte« zugelassen werden, durch folgenden Satz gegeben. Ist $T_{\alpha_1 \cdots \alpha_l}$ ein Tensor $l$ten Ranges, so ist $\frac{\partial T_{\alpha_1 \cdots \alpha_l}}{\partial x_s}$ ein Tensor vom $l+1$ten Range. Hieraus ergibt sich leicht die sogenannte »Divergenz« an Tensoren mit Hilfe des in Gleichung (10) des § 6 gegebenen speziellen Tensors δ_μ^ν, den wir im Falle der Beschränkung auf lineare orthogonale Transformationen, in welchem die Unterschiede zwischen kovariant und kontravariant wegfallen, durch das Zeichen $\delta_{\mu\nu}$ zu ersetzen haben. Durch innere Multiplikation des durch »Erweiterung« gebildeten Tensors $l+1$ten Ranges mit dem Tensor $\delta_{\mu\nu}$ erhalten wir den Tensor $l-1$ten Ranges

$$T_{\alpha_1 \cdots \alpha_{l-1}} = \sum_{ls} \frac{\partial T_{\alpha_1 \cdots \alpha_l}}{\partial x_s} \delta_{\alpha_l s} = \sum_{\alpha_l} \frac{\partial T_{\alpha_1 \cdots \alpha_l}}{\partial x_{\alpha_l}}.$$

Es ist dies die nach dem Index α_l gebildete Divergenz des Tensors $T_{\alpha_1 \cdots \alpha_l}$. Es ist unsere Aufgabe, die Verallgemeinerung dieser Operationen für den Fall aufzustellen, daß die Substitutionen den genannten beschränkenden Bedingungen (Linearität-Orthogonalität) nicht unterworfen werden.

Erweiterung eines kovarianten Tensors. Es sei $\phi\,(x_1 \cdots x_4)$ ein Skalar und S eine in unserem Kontinuum gegebene Kurve. Die von einem Punkte P von S aus nach bestimmter Seite auf S im Sinne der §§ 1 und 8 gemessene »Bogenlänge« sei s. Dann können wir die Funktionswerte ϕ der auf S gelegenen Punkte des Kontinuums auch als Funktion von s ansehen. Es ist dann klar, daß auch die Größen $\frac{d\phi}{ds}$, $\frac{d^2\phi}{ds^2}$ usw. Skalare sind, d. h. Größen, die in einer vom Koordinatensystem unabhängigen Weise definiert sind. Da aber

$$\frac{d\phi}{ds} = \sum_{\mu} \frac{\partial\phi}{\partial x_\mu} \frac{dx_\mu}{ds}, \tag{25}$$

und von jedem Punkte aus Kurven S in beliebiger Richtung gezogen werden können, so sind gemäß § 3 die Größen

$$A_\mu = \frac{\partial\phi}{\partial x_\mu} \tag{26}$$

Komponenten eines kovarianten Vierervektors (Tensors ersten Ranges), den wir passend als »Erweiterung« des Skalars ϕ (eines Tensors vom nullten Range) auffassen können.

Wir erhalten weiter gemäß (25)

$$\frac{d^2\phi}{ds^2} = \sum_{\mu\nu} \frac{\partial^2\phi}{\partial x_\mu \partial x_\nu} \frac{dx_\mu}{ds} \frac{dx_\nu}{ds} + \sum_{\tau} \frac{\partial\phi}{\partial x_\tau} \frac{d^2 x_\tau}{ds^2}.$$

Wir spezialisieren nun unsere Betrachtung durch die von der Wahl des Bezugssystems unabhängige Festsetzung, daß die Linie S eine geodätische sei; dann erhalten wir nach (23b)

$$\frac{d^2\phi}{ds^2} = \sum_{\mu\nu} \left[\frac{\partial^2\phi}{\partial x_\mu \partial x_\nu} - \sum_{\tau} \begin{Bmatrix} \mu\nu \\ \tau \end{Bmatrix} \frac{\partial\phi}{\partial x_\tau} \right] \frac{dx_\mu}{ds} \frac{dx_\nu}{ds}. \tag{27}$$

Wir richten nun unser Augenmerk auf die Größen

$$A_{\mu\nu} = \frac{\partial^2\phi}{\partial x_\mu \partial x_\nu} - \sum_{\tau} \begin{Bmatrix} \mu\nu \\ \tau \end{Bmatrix} \frac{\partial\phi}{\partial x_\tau}, \tag{28}$$

welche gemäß (24) und (24a) die Symmetriebedingung

$$A_{\mu\nu} = A_{\nu\mu}$$

erfüllen. Vermöge letzterer geht mit Rücksicht auf (5c) aus Gleichung (27) und aus dem Skalarcharakter von $\frac{d^2\phi}{ds^2}$ hervor, daß $A_{\mu\nu}$ ein (symmetrischer) kovarianter Tensor zweiten Ranges ist. Wir können $A_{\mu\nu}$ als die Erweiterung des kovarianten Tensors ersten Ranges $A_\mu = \frac{d\phi}{dx_\mu}$ auffassen und (28) auch in der Form schreiben

$$A_{\mu\nu} = \frac{\partial A_\mu}{\partial x_\nu} - \sum_{\tau} \begin{Bmatrix} \mu\nu \\ \tau \end{Bmatrix} A_\tau. \tag{28a}$$

Es liegt nun die Vermutung nahe, daß nicht nur aus einem Vierervektor vom Typus (26), sondern aus einem **beliebigen** kovarianten Vierervektor gemäß (28a) durch Differentiation (Erweiterung) ein kovarianter Tensor zweiten Ranges gebildet werden kann. Dies wollen wir jetzt nachweisen.

Es ist zunächst leicht zu sehen, daß sich die Komponenten A_μ eines beliebigen kovarianten Vierervektors im vierdimensionalen Kontinuum in der Form darstellen lassen

$$A_\mu = \psi_1 \frac{\partial \phi_1}{\partial x_\mu} + \psi_2 \frac{\partial \phi_2}{\partial x_\mu} + \psi_3 \frac{\partial \phi_3}{\partial x_\mu} + \psi_4 \frac{\partial \phi_4}{\partial x_\mu},$$

wobei die Größen ψ_λ und ϕ_λ Skalare sind. Denn wählen wir (in dem speziell benutzten Koordinatensystem) willkürlich $\phi_\nu = x_\nu$, so brauchen wir nur $\psi_\nu = A_\nu$ (in dem speziell benutzten Koordinatensystem) zu setzen, um die Gleichung zu erfüllen. Um den Tensorcharakter der gemäß (28a) gebildeten Größen $A_{\mu\nu}$ einzusehen, brauchen wir daher nur zu beweisen, daß $A_{\mu\nu}$ ein Tensor ist, wenn in (28a) $A_\mu = \psi \frac{d\phi}{dx_\mu}$ gesetzt wird, wobei ψ und ϕ Skalare sind. Gemäß (28) sind

$$\psi \left[\frac{\partial^2 \phi}{\partial x_\mu \partial x_\nu} - \sum_\tau \begin{Bmatrix} \mu\nu \\ \tau \end{Bmatrix} \frac{\partial \phi}{\partial x_\tau} \right]$$

Tensorkomponenten, gemäß (26) und (6) ebenso

$$\frac{\partial \psi}{\partial x_\nu} \frac{\partial \phi}{\partial x_\mu}.$$

Durch Addition folgt der Tensorcharakter von

$$\frac{\partial}{\partial x_\nu} \left[\psi \frac{\partial \phi}{\partial x_\mu} \right] - \sum_\tau \begin{Bmatrix} \mu\nu \\ \tau \end{Bmatrix} \left(\psi \frac{\partial \phi}{\partial x_\tau} \right).$$

(28a) liefert also auch aus dem Vierervektor $\psi \frac{\partial \phi}{\partial x_\mu}$ einen Tensor und damit nach dem vorhin Bewiesenen uns einen beliebigen kovarianten Vierervektor A_μ. Damit ist der gesuchte Nachweis geliefert.

Nachdem die Erweiterung des kovarianten Tensors ersten Ranges abgeleitet ist, gelingt es leicht, die Erweiterung des kovarianten Tensors beliebigen Ranges zu finden. Gemäß (6) und (6a) können wir jeden kovarianten Tensor darstellen als eine Summe von Tensoren vom Typus

$$A_{\alpha_1 \cdots \alpha_l} = A^{(1)}_{\alpha_1} A^{(2)}_{\alpha_2} \cdots A^{(l)}_{\alpha_l},$$

wobei die $A^{(\nu)}_{\alpha_\nu}$ kovariante Vierervektoren bedeuten. Gemäß (28a) ist zunächst

$$A^{(\nu)}_{\alpha_\nu s} = \frac{\partial A^{(\nu)}_{\alpha_\nu}}{\partial x_s} - \sum_\tau \begin{Bmatrix} \alpha_\nu s \\ \tau \end{Bmatrix} A^{(\nu)}_\tau$$

ein kovarianter Tensor vom zweiten Range. Diesen multiplizieren wir nach der Regel der äußeren Multiplikation mit allen $A^{(\mu)}_{\alpha_\mu}$ mit Ausnahme

von $A^{(\nu)}_{\alpha_\nu}$ und erhalten so einen Tensor vom Range $l+1$, bei dessen Bildung der Index ν bevorzugt wurde. Derartige Tensoren lassen sich l bilden, indem man der Reihe nach die Indizes $\nu=1$, $\nu=2 \cdots \nu=l$ bei der Bildung bevorzugt. Addiert man sie alle, so erhält man den Tensor $(l+1)$ten Ranges

$$A_{\alpha_1 \cdots \alpha_l s} = \frac{\partial A_{\alpha_1 \cdots \alpha_l}}{\partial x_s} - \sum_\tau \left[\begin{Bmatrix} \alpha_1 s \\ \tau \end{Bmatrix} A_{\tau \alpha_2 \cdots \alpha_l} + \begin{Bmatrix} \alpha_2 s \\ \tau \end{Bmatrix} A_{\alpha_1 \tau \alpha_3 \cdots \alpha_l} \cdots \right] \quad (29)$$

Diese von Christoffel gefundene Formel liefert nach obiger Bemerkung aus jedem beliebigen kovarianten Tensor $l$ten Ranges einen solchen $(l+1)$ten Ranges, welchen wir dessen »Erweiterung« nennen. Auf diese Operation lassen sich alle Differentialoperationen zurückführen.

Multipliziert man (29) mit $g^{\alpha_1\beta_1} g^{\alpha_2\beta_2} \cdots g^{\alpha_l\beta_l}$ derart, daß die Multiplikation bezüglich der Indizes α eine innere, bezüglich der β eine äußere ist, so erhält man einen Tensor, der bezüglich $\beta_1 \cdots \beta_l$ kontravariant, bezüglich s kovariant ist. Schreibt man schließlich wieder α statt β, so erhält man

$$A_s^{\alpha_1 \cdots \alpha_l} = \frac{\partial A^{\alpha_1 \cdots \alpha_l}}{\partial x_s} + \sum_\tau \left[\begin{Bmatrix} s\tau \\ \alpha_1 \end{Bmatrix} A^{\tau \alpha_2 \cdots \alpha_l} + \begin{Bmatrix} s\tau \\ \alpha_2 \end{Bmatrix} A^{\alpha_1 \tau \alpha_3 \cdots \alpha_l} + \cdots \right]. \quad (30)$$

Diesen Tensor kann man die Erweiterung des kontravarianten Tensors nennen. Ein Blick auf (29) und (30) zeigt, daß die so definierte Erweiterung stets einen Index von kovariantem Charakter liefert. Es ist auch leicht, eine allgemeine Formel für die Erweiterung eines gemischten Tensors anzugeben, welche eine Verschmelzung der Formeln (29) und (30) wäre.

Divergenz. Die Erweiterung eines kontravarianten Tensors vom Range l ist ein gemischter Tensor vom Range $l+1$. Man kann aus ihm einen kontravarianten Tensor vom Range $l-1$ bilden durch innere Multiplikation mit dem gemischten Fundamentaltensor (10), und zwar kann dies auf l verschiedene Arten gemacht werden. Man kann demgemäß l im allgemeinen voneinander verschiedene Divergenzen eines kontravarianten Tensors unterscheiden. Eine derselben lautet

$$A^{\alpha_1 \cdots \alpha_{l-1}} = \sum_{\alpha_l s} A_s^{\alpha_1 \cdots \alpha_l} \delta^s_{\alpha_l}. \quad (31)$$

Bei symmetrischen und bei antisymmetrischen Tensoren ist das Resultat der Divergenzbildung unabhängig davon, welcher der Indizes α_ν hierbei bevorzugt wird.

Einige Hilfsformeln. Bevor wir die abgeleiteten Formeln auf Spezialfälle anwenden, leiten wir einige Differentialeigenschaften des

Fundamentaltensors ab. Durch Differenzieren der Determinante $|g_{\mu\nu}| = g$ nach x_σ erhält man

$$\frac{1}{g}\frac{\partial g}{\partial x_\sigma} = \sum_{\mu\nu} \frac{\partial g_{\mu\nu}}{\partial x_\sigma} g^{\mu\nu} = \frac{2}{\sqrt{g}}\frac{\partial \sqrt{g}}{\partial x_\sigma}. \tag{32}$$

Aus (24a), (24) und (32) erhält man

$$\sum_\tau \begin{Bmatrix} \mu\tau \\ \tau \end{Bmatrix} = \sum_\tau \begin{Bmatrix} \tau\mu \\ \tau \end{Bmatrix} = \frac{1}{2}\sum_{\tau\alpha} g^{\tau\alpha}\frac{\partial g_{\tau\alpha}}{\partial x_\mu} = \frac{1}{\sqrt{g}}\frac{\partial \sqrt{g}}{\partial x_\mu}. \tag{33}$$

Durch Differenzieren von (10) ergibt sich

$$\sum_\tau \frac{\partial g_{\mu\tau}}{\partial x_\sigma} g^{\nu\tau} = -\sum_\tau \frac{\partial g^{\nu\tau}}{\partial x_\sigma} g_{\mu\tau}. \tag{34}$$

Durch Multiplizieren dieser Gleichung mit $g_{\nu\tau}$ und Summieren über ν, bzw. durch Multiplizieren mit $g_{\mu\tau}$ und Summieren über μ, erhält man mit Rücksicht auf (10) zwei Gleichungen, die bei anderer Bezeichnung der Indizes lauten

$$\frac{\partial g_{\mu\nu}}{\partial x_\sigma} = -\sum_{\sigma\tau} \frac{\partial g^{\sigma\tau}}{\partial x_\sigma} g_{\sigma\mu} g_{\tau\nu} \tag{35}$$

$$\frac{\partial g^{\mu\nu}}{\partial x_\sigma} = -\sum_{\sigma\tau} \frac{\partial g_{\sigma\tau}}{\partial x_\sigma} g^{\sigma\mu} g^{\tau\nu}. \tag{36}$$

Erweiterung und Divergenz des Vierervektors. Die Erweiterung des kovarianten Vierervektors ist durch (28a) gegeben. Durch Vertauschen der Indizes μ und ν und Subtraktion erhält man den antisymmetrischen Tensor

$$A_{\mu\nu} - A_{\nu\mu} = \frac{\partial A_\mu}{\partial x_\nu} - \frac{\partial A_\nu}{\partial x_\mu}. \tag{28b}$$

Als Erweiterung A^μ_ν des kontravarianten Vierervektors A^μ ergibt sich aus (30)

$$A^\mu_\nu = \frac{\partial A^\mu}{\partial x_\nu} + \sum_\tau \begin{Bmatrix} \nu\tau \\ \mu \end{Bmatrix} A^\tau.$$

Hieraus die Divergenz

$$\Phi = \sum_{\mu\nu} A^\mu_\nu \delta^\nu_\mu = \sum_\mu \left(\frac{\partial A^\mu}{\partial x_\mu} + \begin{Bmatrix} \mu\tau \\ \mu \end{Bmatrix} A^\tau \right),$$

also nach (33)

$$\Phi = \frac{1}{\sqrt{g}} \sum_\mu \frac{\partial}{\partial x_\mu} (\sqrt{g} A^\mu). \tag{37}$$

Setzt man hierin für A^μ den kontravarianten Vektor $\sum g^{\mu\nu}\frac{\partial \phi}{\partial x_\nu}$ ein, wobei ϕ einen Skalar bedeutet, so erhält man die bekannte Verallgemeinerung des LAPLACEschen $\Delta\phi$:

$$\Phi = \sum_{\mu\nu} \frac{1}{\sqrt{g}} \frac{\partial}{\partial x_\mu}\left(\sqrt{g}\, g^{\mu\nu} \frac{\partial \phi}{\partial x_\nu}\right). \qquad (38)$$

Erweiterung und Divergenz des Tensors zweiten Ranges. In Anwendung auf den kovarianten und kontravarianten Tensor zweiten Ranges liefern (29) und (30) die Tensoren dritten Ranges.

$$A_{\mu\nu s} = \frac{\partial A_{\mu\nu}}{\partial x_s} - \sum_\tau \left(\begin{Bmatrix}\mu s\\ \tau\end{Bmatrix} A_{\tau\nu} + \begin{Bmatrix}\nu s\\ \tau\end{Bmatrix} A_{\mu\tau}\right) \qquad (29a)$$

$$A^{\mu\nu}_s = \frac{\partial A^{\mu\nu}}{\partial x_s} + \sum_\tau \left(\begin{Bmatrix}s\tau\\ \mu\end{Bmatrix} A^{\tau\nu} + \begin{Bmatrix}s\tau\\ \nu\end{Bmatrix} A^{\mu\tau}\right). \qquad (30a)$$

Man überzeugt sich hieraus leicht, daß die »Erweiterung« des Fundamentaltensors $g_{\mu\nu}$ bzw. $g^{\mu\nu}$ verschwindet.

Als Divergenz von $A^{\mu\nu}$ nach dem Index ν ergibt sich aus (31), (30a) und (33):

$$A^\mu = \sum_{s\nu} A^{\mu\nu}_s \delta^s_\nu = \frac{1}{\sqrt{g}}\left(\sum_\nu \frac{\partial(A^{\mu\nu}\sqrt{g})}{\partial x_\nu} + \sum_{\tau\nu} \begin{Bmatrix}\tau\nu\\ \mu\end{Bmatrix} A^{\tau\nu}\sqrt{g}\right). \qquad (39)$$

Dies liefert für einen antisymmetrischen Tensor (Sechservektor) wegen der Symmetrie von $\begin{Bmatrix}\tau\nu\\ \mu\end{Bmatrix}$ bezüglich der Indizes τ und ν:

$$A^\mu = \frac{1}{\sqrt{g}} \sum_\nu \frac{\partial(A^{\mu\nu}\sqrt{g})}{\partial x_\nu}. \qquad (40)$$

Für den Fall, daß $A^{\mu\nu}$ symmetrisch ist, gestattet (39) eine Umformung, welche für das Folgende von Wichtigkeit ist; wir bilden den zu (A^μ) reziproken kovarianten Vierervektor $\sum_\mu A^\mu g_{\mu\sigma} = A_\sigma$:

$$A_\sigma = \frac{1}{\sqrt{g}}\left(\sum_{\mu\nu} g_{\mu\sigma} \frac{\partial(A_{\mu\nu}\sqrt{g}}{\partial x_\nu} + \sqrt{g}\sum_{\tau\nu}\begin{bmatrix}\tau\nu\\ \sigma\end{bmatrix} A^{\tau\nu}\right)$$

$$= \frac{1}{\sqrt{g}}\left(\sum_{\mu\nu} \frac{\partial(g_{\mu\sigma}A^{\mu\nu}\sqrt{g})}{\partial x_\nu} + \frac{1}{2}\sqrt{g}\sum_{\mu\nu}\left(-\frac{\partial g_{\mu\sigma}}{\partial x_\nu} + \frac{\partial g_{\nu\sigma}}{\partial x_\mu}\ \frac{\partial g_{\mu\nu}}{\partial x_\sigma}\right) A^{\mu\nu}\right).$$

Hieraus, falls $A^{\mu\nu}$ symmetrisch ist:

$$A_\sigma = \frac{1}{\sqrt{g}}\sum_{\mu\nu}\left(\frac{\partial(g_{\mu\sigma}A^{\mu\nu}\sqrt{g})}{\partial x_\nu} - \frac{1}{2}\frac{\partial g_{\mu\nu}}{\partial x_\sigma} A^{\mu\nu}\sqrt{g}\right), \qquad (41)$$

wofür man bei Einführung des gemischten Tensors $\sum_\mu g_{\sigma\mu} A^{\mu\nu} = A^\nu_\sigma$ auch setzen kann

$$A_\sigma = \frac{1}{\sqrt{g}}\left(\sum_\nu \frac{\partial(A^\nu_\sigma\sqrt{g})}{\partial x_\nu} - \frac{1}{2}\sum_{\mu\nu\tau} g^{\tau\mu}\frac{\partial g_{\mu\nu}}{\partial x_\sigma} A^\nu_\tau\sqrt{g}\right). \qquad (41a)$$

RIEMANN-CHRISTOFFELscher Tensor. Die Formel (29) gestattet eine sehr einfache Ableitung des bekannten Kriteriums dafür, ob ein gegebenes Kontinuum mit gegebenem Linienelement ein euklidisches ist, d. h. ob man es durch eine passend gewählte Substitution erzielen kann, daß ds^2 überall gleich der Quadratsumme der Koordinatendifferentiale wird.

Wir bilden aus dem kovarianten Vierervektor A_μ durch zweimalige Erweiterung gemäß (29) den Tensor dritten Ranges $(A_{\mu\nu\lambda})$. Man erhält

$$A_{\mu\nu\lambda} = \frac{\partial^2 A_\mu}{\partial x_\nu \partial x_\lambda} - \left[\begin{Bmatrix}\mu\lambda\\ \tau\end{Bmatrix}\frac{\partial A_\tau}{\partial x_\nu} + \begin{Bmatrix}\mu\nu\\ \tau\end{Bmatrix}\frac{\partial A_\tau}{\partial x_\lambda}\right]$$
$$-\begin{Bmatrix}\nu\lambda\\ \tau\end{Bmatrix}\frac{\partial A_\tau}{\partial x_\mu} + \begin{Bmatrix}\nu\lambda\\ \tau\end{Bmatrix}\begin{Bmatrix}\tau\mu\\ \sigma\end{Bmatrix}A_\sigma$$
$$-\left[\frac{\partial}{\partial x_\lambda}\begin{Bmatrix}\mu\nu\\ \sigma\end{Bmatrix} - \begin{Bmatrix}\mu\lambda\\ \tau\end{Bmatrix}\begin{Bmatrix}\nu\tau\\ \sigma\end{Bmatrix}\right]A_\sigma .$$

Es folgt hieraus sofort, daß auch $(A_{\mu\nu\lambda} - A_{\mu\lambda\nu})$ ein kovarianter Tensor dritten Ranges ist; es ist also

$$\left[\frac{\partial}{\partial x_\lambda}\begin{Bmatrix}\mu\nu\\ \sigma\end{Bmatrix} - \frac{\partial}{\partial x_\nu}\begin{Bmatrix}\mu\lambda\\ \sigma\end{Bmatrix} + \sum_\tau\left(\begin{Bmatrix}\mu\nu\\ \tau\end{Bmatrix}\begin{Bmatrix}\lambda\tau\\ \sigma\end{Bmatrix} - \begin{Bmatrix}\mu\lambda\\ \tau\end{Bmatrix}\begin{Bmatrix}\nu\tau\\ \sigma\end{Bmatrix}\right)\right]A_\sigma$$

ein kovarianter Tensor σ dritten Ranges, die eckige Klammer also ein Tensor vierten Ranges $(K^\sigma_{\mu\nu\lambda})$, welcher nach dem Indizes μ, ν, λ kovariant, nach σ kontravariant ist. Alle Komponenten dieses Tensors verschwinden, wenn die $g_{\mu\nu}$ Konstante sind. Dies Verschwinden findet immer statt, wenn es bezüglich eines passend gewählten Koordinatensystems stattfindet. Das Verschwinden der Klammer für alle Indexkombinationen ist also eine notwendige Bedingung dafür, daß sich das Linienelement auf die euklidische Form bringen läßt; daß diese Bedingung hierfür hinreicht, bedarf allerdings noch eines Beweises.

V-Tensoren. Ein Blick auf die Formeln (37), (39), (40), (41), (41a) lehrt, daß Tensorkomponenten häufig mit $\sqrt{g}$ multipliziert auftreten. Wir wollen deshalb eine besondere Bezeichnung für die mit $\sqrt{g}$ (bzw. $\sqrt{-g}$, wenn g negativ ist) multiplizierten Tensorkomponenten einführen, indem wir die Produkte mit deutschen Buchstaben bezeichnen, z. B. setzen

$$A_\sigma\sqrt{g} = \mathfrak{A}_\sigma$$
$$A^\sigma_\tau\sqrt{g} = \mathfrak{A}^\sigma_\tau$$

$(\mathfrak{A}_\sigma)$, $(\mathfrak{A}^\sigma_\tau)$ usw., nennen wir V-Tensoren (Volumtensoren). Sie geben, da $\sqrt{g}\,d\tau = \sqrt{g}\,dx_1 dx_2 dx_3 dx_4$ ein Skalar ist, mit $d\tau$ multipliziert, Ten-

soren im früher definierten Sinne. Bei Benutzung dieser Schreibweise nimmt (41a) beispielsweise die Form an

$$\mathfrak{A}_\sigma = \sum_\nu \frac{\partial \mathfrak{A}_\sigma^\nu}{\partial x_\nu} - \frac{1}{2}\sum_{\mu\nu\tau} g^{\tau\mu}\frac{\partial g_{\mu\nu}}{\partial x_\sigma}\mathfrak{A}_\tau^\nu . \qquad (41\text{b})$$

C. Gleichungen der physikalischen Vorgänge bei gegebenem Gravitationsfelde.

Jeder Gleichung der ursprünglichen Relativitätstheorie entspricht eine im Sinne des vorigen Abschnitts allgemein kovariante Gleichung, welche in der verallgemeinerten Relativitätstheorie an die Stelle der ersteren zu treten hat. Bei Aufstellung jener Gleichungen hat man den Fundamentaltensor der $g_{\mu\nu}$ als gegeben zu betrachten. Man erhält so Verallgemeinerungen derjenigen physikalischen Gesetze, welche in der ursprünglichen Relativitätstheorie bereits bekannt sind; die verallgemeinerten Gleichungen geben dabei Aufschluß über den Einfluß des Gravitationsfeldes auf diejenigen Vorgänge, auf welche sich jene Gleichungen beziehen. Unbekannt bleiben zunächst nur die Differentialgesetze des Gravitationsfeldes selbst, die auf eine besondere Weise gewonnen werden müssen. Wir wollen alle übrigen (z. B. mechanische, elektromagnetische) Gesetze unter dem Namen »Gesetze der materiellen Vorgänge« zusammenfassen.

§ 9. Impuls-Energie-Satz für die »materiellen Vorgänge«.

Das allgemeinste »materielle Vorgänge« betreffende Gesetz ist der Impuls-Energie-Satz. Derselbe läßt sich nach der ursprünglichen Relativitätstheorie in der Formulierung MINKOWSKI-LAUE folgendermaßen schreiben:

$$\left.\begin{aligned}
\frac{\partial p_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial p_{xy}}{\partial y} + \frac{\partial p_{xz}}{\partial z} + \frac{\partial (i\mathfrak{i}_x)}{\partial l} &= f_x \\
\frac{\partial p_{yx}}{\partial x} + \frac{\partial p_{yy}}{\partial y} + \frac{\partial p_{yz}}{\partial z} + \frac{\partial (i\mathfrak{i}_y)}{\partial l} &= f_y \\
\frac{\partial p_{zx}}{\partial x} + \frac{\partial p_{zy}}{\partial y} + \frac{\partial p_{zz}}{\partial z} + \frac{(\partial i\mathfrak{i}_z)}{\partial l} &= f_z \\
\frac{\partial (i\mathfrak{f}_x)}{\partial x} + \frac{\partial (i\mathfrak{f}_y)}{\partial y} + \frac{\partial (i\mathfrak{f}_z)}{\partial z} + \frac{\partial (-\eta)}{\partial l} &= iw
\end{aligned}\right\} \qquad (42)$$

Dabei ist als Zeitkoordinate $l = it$ gewählt, wobei die reelle Zeit t so gemessen wird, daß die Leichtgeschwindigkeit gleich 1 wird.

$$\begin{matrix} p_{xx} & p_{xy} & p_{xz} & i\mathfrak{i}_x \\ p_{yx} & p_{yy} & p_{yz} & i\mathfrak{i}_y \\ p_{zx} & p_{zy} & p_{zz} & i\mathfrak{i}_z \\ i\mathfrak{f}_x & i\mathfrak{f}_y & i\mathfrak{f}_z & -\eta \end{matrix}$$

ist ein symmetrischer Tensor ($T_{\nu\nu}$) zweiten Ranges (Energietensor)

$$f_x, f_y, f_z, iw$$

ein Vierervektor (K_ν), beides natürlich bezüglich linearer orthogonaler Substitutionen, welche in der ursprünglichen Relativitätstheorie die allein berechtigten sind. Formal betrachtet, besagt (42), daß (K_ν) gleich der Divergenz des Energietensors $T_{\mu\nu}$ ist. Physikalisch bedeuten

- p_{xx} usw. die »Spannungskomponenten«
- $\mathfrak{i}$ den Vektor der Impulsdichte
- $\mathfrak{f}$ den Vektor des Energiestromes
- η die Energiedichte
- f den Vektor der pro Volumeinheit von außen auf das System wirkenden Kraft
- w die dem System pro Volumen- und Zeiteinheit zugeführte Energie.

Falls das System ein »vollständiges« ist, verschwinden die rechten Seiten der Gleichungen (42).

Unsere Aufgabe ist es nun, die allgemein kovarianten Gleichungen aufzusuchen, welche den Gleichungen (42) entsprechen. Es ist klar, daß auch die verallgemeinerten Gleichungen formal dadurch charakterisiert sind, daß die Divergenz eines Tensors zweiten Ranges einem Vierervektor gleichgesetzt wird. Bei jeder solchen Verallgemeinerung besteht aber die Schwierigkeit, daß es in der verallgemeinerten Relativitätstheorie im Gegensatze zur ursprünglichen Tensoren verschiedenen Charakters (kovariante, kontravariante, gemischte, ferner von allen diesen Gattungen V-Tensoren) gibt, so daß stets eine gewisse Wahl getroffen werden muß. Diese Wahl bringt aber keine physikalische Willkür mit sich; sie hat nur Einfluß darauf, welche Variabeln bei der Darstellung bevorzugt werden[1]. Die Wahl ist so zu treffen, daß die Gleichungen möglichst übersichtlich werden, und die in denselben eingeführten Größen eine möglichst anschauliche physikalische Bedeutung erhalten. Es erweist sich, daß man diesen Gesichtspunkten am besten gerecht wird, wenn man dem Tensor $T_{\mu\nu}$ einen gemischten V-Tensor $\mathfrak{T}_\mu^\nu$, dem

---

[1] Es hängt dies damit zusammen, daß aus jedem Tensor Tensoren anderen Charakters durch Multiplikation mit dem Fundamentaltensor bzw. mit $\sqrt{-g}$ gewonnen werden können.

Vierervektor (K_σ) den kovarianten V-Vierervektor $\mathfrak{K}_\sigma$ entsprechen läßt. Man hat dann die Divergenz gemäß (41b) zu bilden und erhält als Verallgemeinerung von (42) die allgemein kovarianten Gleichungen

$$\sum_\nu \frac{\partial \mathfrak{T}_\sigma^\nu}{\partial x_\nu} = \frac{1}{2}\sum_{\mu\tau\nu} g^{\tau\mu} \frac{\partial g_{\mu\nu}}{\partial x_\sigma} \mathfrak{T}_\tau^\nu + \mathfrak{K}_\sigma \,. \tag{42a}$$

Dabei bezeichnen wir, indem wir die obigen Benennungsweisen aufrechterhalten, die Komponenten von $\mathfrak{T}_\sigma^\nu$ gemäß dem Schema

	$\nu = 1$	$\nu = 2$	$\nu = 3$	$\nu = 4$
$\sigma = 2$	$-p_{xx}$	$-p_{xy}$	$-p_{xz}$	$-\mathfrak{i}_x$
$\sigma = 1$	$-p_{yx}$	$-p_{yy}$	$-p_{yz}$	$-\mathfrak{i}_y$
$\sigma = 3$	$-p_{zx}$	$-p_{zy}$	$-p_{zz}$	$-\mathfrak{i}_z$
$\sigma = 4$	$\mathfrak{f}_x$	$\mathfrak{f}_y$	$\mathfrak{f}_z$	η

(43)

die Komponenten von $\mathfrak{K}_\sigma$ gemäß dem Schema

$\sigma = 1$	$-f_x$
$\sigma = 2$	$-f_y$
$\sigma = 3$	$-f_z$
$\sigma = 4$	w

(44)

Der zu $\mathfrak{T}_\sigma^\nu$ gehörige rein kovariante (bzw. rein kontravariante) Tensor ist hierbei symmetrisch. Es ist leicht einzusehen, daß die Gleichungen (42a) in die Gleichungen (42) übergehen, wenn den Größen $g_{\mu\nu}$ die speziellen Werte

$$\begin{matrix} -1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{matrix} \tag{45}$$

gegeben werden.

Diskussion von (42a). Wir fassen zunächst den Spezialfall ins Auge, daß ein Gravitationsfeld nicht vorhanden ist, d. h. daß die $g_{\mu\nu}$ sämtlich als konstant anzusehen sind. Dann verschwindet das erste Glied der rechten Seite von (42a). Das betrachtete System sei räumlich (d. h. in bezug auf x_1, x_2, x_3) endlich ausgedehnt. Das Integral einer Größe ϕ über

x_1, x_2, x_3, ausgedehnt über das ganze System bezeichen wir mit $\overline{\phi}$. Dann erhalten wir aus (42a) durch eine derartige Integration über x_1, x_2, x_3

$$\frac{d\bar{\mathfrak{i}}}{dx_4} = \bar{f}$$

$$\frac{d\bar{\eta}}{dx_4} = \bar{w}.$$

Es sind dies die Bilanzsätze des Impulses und der Energie in der üblichen Form, aus welchen im Falle des Fehlens äußerer Kräfte die zeitliche Konstanz des Impulses $\bar{\mathfrak{i}}$ und der Energie $\bar{\eta}$ folgt. In diesem Falle drückt sich der Energie-Impulssatz also durch einen eigentlichen Erhaltungssatz aus, der in differentieller Schreibweise durch die Gleichung

$$\sum_\nu \frac{\partial \mathfrak{T}_\sigma^\nu}{\partial x_\nu} = 0 \qquad (42b)$$

ausgedrückt wird, falls äußere Kräfte fehlen ($\mathfrak{K}_\sigma = 0$).

Existiert ein Schwerefeld, d. h. sind die $g_{\mu\nu}$ nicht konstant, so gilt auch dann kein eigentlicher Erhaltungssatz für das betrachtete (räumlich endliche) System, wenn die $\mathfrak{K}_\sigma$ verschwinden. Denn es besteht keine Gleichung vom Typus von (42b), da das erste Glied der rechten Seite von (42a) nun nicht verschwindet. Es entspricht dem die physikalische Tatsache, daß in einem Gravitationsfelde Impuls und Energie eines materiellen Systems sich mit der Zeit ändern, indem das Gravitationsfeld auf das materielle System Impuls und Energie überträgt. Die physikalische Bedeutung des ersten Gliedes der rechten Seite von (42) ist also derjenigen des zweiten Gliedes analog. Die Komponenten dieses ersten Gliedes, welche wir

$$-f_x^{(g)}, \; -f_y^{(g)}, \; -f_z^{(g)}, \; w^{(g)}$$

nennen können, drücken also den negativen Impuls bzw. die Energie aus, welche das Gravitationsfeld pro Volumen- und Zeiteinheit auf das materielle System überträgt.

Im Falle des Verschwindens der $\mathfrak{K}_\sigma$ muß aber gefordert werden, daß für das materielle System und das zugehörige Gravitationsfeld zusammen Sätze bestehen, welche die Konstanz des Gesamtimpulses und der Gesamtenergie von Materie und Gravitationsfeld ausdrücken. Es kommt dies darauf hinaus, daß ein Komplex von Größen $\mathfrak{t}_\sigma^\nu$ für das Gravitationsfeld existieren muß, derart, daß die Gleichungen

$$\sum_\nu \frac{\partial(\mathfrak{T}_\sigma^\nu + \mathfrak{t}_\sigma^\nu)}{\partial x_\nu} = 0 \qquad (42c)$$

bestehen. Auf diesen Punkt kann erst dann näher eingegangen werden, wenn die Differentialgesetze für das Gravitationsfeld aufgestellt sind.

Man sieht, daß für die Einwirkung des Gravitationsfeldes auf die materiellen Vorgänge die Größen

$$\Gamma^{\nu}_{\sigma\tau} = \frac{1}{2} \sum_{\mu} g^{\tau\mu} \frac{\partial g^{\mu\nu}}{\partial x_{\sigma}} \qquad (46)$$

maßgebend sind, die wir deshalb »Komponenten des Gravitationsfeldes« nennen wollen.

§ 10. Bewegungsgleichungen kontinuierlich verteilter Massen.

Natürlich gemessene Größen. Es wurde bereits hervorgehoben, daß es in der verallgemeinerten Relativitätstheorie nicht möglich ist, Koordinatensysteme so zu wählen, daß räumliche und zeitliche Koordinatendifferenzen mit an Maßstäben und Uhren erhaltenen Meßergebnissen in so unmittelbarer Weise zusammenhängen, wie dies gemäß der ursprünglichen Relativitätstheorie der Fall ist. Eine derartige bevorzugte Koordinatenwahl ist nur im Unendlichkleinen möglich, indem gesetzt wird

$$ds^2 = \sum_{\mu\nu} g_{\mu\nu}\, dx_\mu\, dx_\nu = -d\xi_1^2 - d\xi_2^2 - d\xi_3^2 + d\xi_4^2. \qquad (46)$$

Die $d\xi$ sind (vgl. § 2) genau so meßbar wie die Koordinaten der ursprünglichen Relativitätstheorie; sie sind aber keine vollständigen Differentiale. Im Unendlichkleinen lassen sich alle Größen auf das Koordinatensystem der $d\xi$ beziehen; geschieht dies, so nennen wir sie »natürlich gemessene« Größen. Das Koordinatensystem der $d\xi$ nennen wir »Normalsystem«.

Gemäß (17a) gilt für unendlich kleine vierdimensionale Volumina

$$\sqrt{-g} \int dx_1\, dx_2\, dx_3\, dx_4 = \int d\xi_1\, d\xi_2\, d\xi_3\, d\xi_4. \qquad (47)$$

Das betrachtete Volumen bestehe nun in einem unendlich kurzen Stück eines unendlich dünnen vierdimensionalen Fadens. dv sei das über ihn erstreckte Integral $\int dx_1 dx_2 dx_3$. Das System der $d\xi$ wählen wir so, daß die $d\xi_4$-Achse in die Achse des Fadens fällt, dann ist $d\xi_4 = ds$, und das Integral $\int d\xi_1 d\xi_2 d\xi_3$ ist als natürlich gemessenes Ruhevolumen dv_0 des Fadens zu bezeichnen. Es ist nach (47)

$$\sqrt{-g}\, dv\, dx_4 = dv_0\, ds \qquad (47a)$$

Masseneinheit. Die Vergleichung der Massen zweier materieller Punkte ist nach den gewöhnlichen Methoden möglich. Es bedarf also zur Messung von Massen nur einer Masseneinheit. Diese sei definiert als diejenige Menge Wasser, welche im natürlich gemessenen Volumen 1 im Zustande relativer Ruhe Platz findet. Die Masse des materiellen Punktes ist ihrer Definition nach eine Invariante bezüglich aller Transformationen.

Dichteskalar. Unter der skalaren Dichte kontinuierlich verbreiteter Materie verstehen wir deren Masse pro (mitbewegter) natürlich gemessener Volumeinheit. Der Dichteskalar charakterisiert zusammen mit den Geschwindigkeitskomponenten $\frac{dx_\nu}{ds}$ die Materie im Sinne der Hydrodynamik vollständig, falls man von der Existenz der Flächenkräfte absehen darf.

Energietensor strömender Massen. Bewegungsgleichungen. Aus dem Skalar ρ_0 und dem kontravarianten Vierervektor $\left(\frac{dx_\nu}{ds}\right)$ der Geschwindigkeit läßt sich der gemischte V-Tensor bilden

$$\mathfrak{T}_\sigma^\nu = \rho_0 \sqrt{-g}\, \frac{dx_\nu}{ds} \sum_\mu g_{\sigma\mu} \frac{dx_\mu}{ds}. \qquad (48)$$

Es liegt die Vermutung nahe, daß $(\mathfrak{T}_\sigma^\nu)$ der Energietensor der ponderabeln Massenströmung sei, und daß die Gleichungen (44) in Verbindung mit (48) den EULERschen Strömungsgleichungen entsprechen für den Fall inkohärenter Massen, d. h. für den Fall, daß Flächenkräfte vernachlässigt werden können. Wir beweisen dies, indem wir aus diesen Gleichungen die früher angegebenen für die Bewegung des materiellen Punktes ableiten.

Die Ausdehnung der betrachteten Massen nach x_1, x_2, x_3 sei unendlich klein. Integrieren wir (44) bezüglich dieser Variabeln über den ganzen »Strömungsfaden« und setzen wir zur Abkürzung $dx_1\, dx_2\, dx_3 = dv$, so erhalten wir:

$$\frac{d}{dx_4}\left\{\int \mathfrak{T}_\sigma^4 dv\right\} = \sum_{\tau\nu}\left\{\Gamma_{\sigma\nu}^\tau \int \mathfrak{T}_\tau^\nu dv\right\} + \int \mathfrak{K}_\sigma dv. \qquad (50)$$

Setzt man hierin für $\mathfrak{T}_\sigma^\nu$ den in (48) gegebenen Ausdruck, so erhält man mit Rücksicht darauf, daß gemäß (47a)

$$dv = \frac{dv_0}{\sqrt{-g}} \frac{ds}{dx_4}, \qquad (47b)$$

und daß

$$m = \int \rho_0\, dv_0 \qquad (49)$$

ist, die Gleichung:

$$\frac{d}{dx_4}\left\{m\sum_\mu g_{\tau\mu}\frac{dx_\mu}{ds}\right\} = \sum_{\nu\tau}\left\{\Gamma^\nu_{\tau\nu}\frac{dx_\nu}{dx_4}\, m\sum_\mu g_{\tau\mu}\frac{dx_\mu}{ds}\right\} + \int \mathfrak{K}_\tau\, dv\,, \tag{50a}$$

oder, indem man zur Abkürzung den kovarianten Vierervektor

$$\mathbf{I}_\tau = m\sum_\mu g_{\tau\mu}\frac{dx_\mu}{ds} \tag{51}$$

einführt[1]

$$\frac{d\mathbf{I}_\tau}{dx_4} = \sum_{\nu\tau}\Gamma^\nu_{\sigma\tau}\frac{dx_\nu}{dx_4}\mathbf{I}_\tau + \int \mathfrak{K}_\tau\, dv\,. \tag{50b}$$

Es ist dies die Bewegungsgleichung des materiellen Punktes, falls die vierte Koordinate (»Zeitkoordinate«) als unabhängige Variable gewählt wird. Aus dem Schema (43) geht hervor, daß die Komponenten von $(\mathbf{I}_\tau)$ ihrer physikalischen Bedeutung nach gleich sind den negativ genommenen Impulskomponenten bzw. der Energie des materiellen Punktes. In dem Spezialfalle der ursprünglichen Relativitätstheorie, d. h. wenn die $g_{\mu\nu}$ die in (18) angegebenen Werte haben, ist

$$\left.\begin{aligned} -\mathbf{I}_1 &= \frac{m\mathfrak{q}_x}{\sqrt{1-q^2}} \\ &\cdots\cdots\cdots \\ \mathbf{I}_4 &= \frac{m}{\sqrt{1-q^2}} \end{aligned}\right\} \tag{52}$$

falls $\mathfrak{q}$ den dreidimensionalen Geschwindigkeitsvektor, q dessen Betrag bedeutet. Dies ist im Einklang mit den Resultaten jener Theorie, mit Rücksicht darauf, daß wir durch die Festsetzung (18) als Zeiteinheit die »Lichtsekunde« gewählt haben[1].

[1] An dieser Stelle sei erwähnt, warum nach meiner Meinung nicht Gleichung (39), sondern Gleichung (41) für die Formulierung des Impuls-Energiesatzes herangezogen wurde. Es wäre gemäß (39) der Energietensor als kontravarianter V-Tensor und die Größen $\left\{ {\tau\nu \atop \mu} \right\}$ als Komponenten des Gravitationsfeldes aufzufassen. In § 11 wären wir dann auf dem dargelegten Wege dazu gelangt, die Komponenten des kontravarianten Vierervektors $\left(\mathbf{I}^\sigma = m\frac{dx_\sigma}{ds}\right)$ als Impulskomponenten und Energie des materiellen Punktes aufzufassen. Daß diese Auffassung eine unserer physikalischen Auffassung vom Wesen des Impulses widerstrebende ist, soll hier an einem ganz speziellen Falle gezeigt werden.

In einem Raume ohne Gravitationsfeld führen wir ein Koordinatensystem ein, das sich von einem »Normalsystem« nur dadurch unterscheidet, daß die x_1-Achse mit der x_2-Achse (von einem Normalsystem aus beurteilt) einen von $\frac{\pi}{2}$ abweichenden Winkel ϕ bildet. Dann ist

$$ds^2 = -dx_1^2 - dx_2^2 - 2dx_1\,dx_2\cos\phi - dx_3^2 + dx_4^2\,.$$

Verschwindet in (50b) $\mathfrak{K}_\sigma$, d. h. die äußeren Kräfte mit Ausschluß der vom Gravitationsfelde herrührenden, so erhält man durch Multiplikation der Gleichung mit $\frac{dx_4}{ds}\cdot\frac{1}{m}$ nach einfacher Rechnung die mit (1) gleichwertige Gleichung (23a) für die Bewegung des materiellen Punktes im Gravitationsfelde. Damit ist die Vermutung bestätigt, daß $\mathfrak{T}_\sigma^\nu$ in (48) tatsächlich der Energietensor der strömenden Materie ist.

Energietensor der idealen Flüssigkeit. Wir wollen nun (48) derart vervollständigen, daß wir den Energietensor einer idealen Flüssigkeit erhalten, mit Berücksichtigung der auftretenden Flächenkräfte (Druck) und die mit den Dichteänderungen verbundenen Energieänderungen[1]. Es läßt sich ohne Mühe der Energietensor an einer Stelle des Mediums gewinnen für dasjenige Normalsystem, dessen $d\xi_4$-Achse in dem betrachteten Punkte mit dem Element der vierdimensionalen Strömungslinie zusammenfällt.

Es sei ϕ das (natürlich gemessene) Volumen einer solchen Menge der Substanz, welche auf den Druck 0 gebracht das Volumen ϕ_0 und die Masse 1 besitzt. Die natürlich gemessene Energie ε dieses Quantums beim Volumen ϕ ist dann, wenn nur adiabatische Zustandsänderungen in Betracht gezogen werden

$$1-\int_{\phi_0}^{\phi} p\,d\phi\,,$$

wobei p den natürlich gemessenen Druck bedeutet. Denn es ist nach (52) die Energie der ruhenden Masseneinheit gleich 1, wenn der Druck verschwindet. Das negativ genommene Integral ist Funktion des Druckes p allein; wir nennen es P. Die Energie pro Volumeneinheit ergibt sich hieraus durch Multiplikation mit $\rho_0=\frac{1}{\phi}$. Die Energiedichte ist also

$$\rho_0(1+P)\,.$$

Dann wird z. B. $-I^2 = m\frac{dx_2}{ds}$. Diese Größe verschwindet, wenn der Punkt in Richtung der x_1-Achse bewegt ist. Es ist aber klar, daß in dem betrachteten Falle eine x_2-Komponente des Impulses tatsächlich existiert, die sich von der x_1-Komponente nur um den Faktor $\cos\phi$ unterscheidet.

Wenn man aber den Impulssatz auf (41) gründet, und demnach gemäß (51) den kovarianten Vierervektor für die Berechnung von Impuls und Energie heranzieht, so ergibt sich in dem betrachteten Falle $-I_2 = -g_{12}\,m\frac{dx_2}{ds} = m\frac{dx_1}{ds}\cos\phi = (-I_1)\cos\phi$, wie verlangt werden muß.

[1] Dabei beschränken wir uns aber auf adiabatische Strömungsvorgänge einer Flüssigkeit mit einheitlicher adiabatischer Zustandsgleichung.

Der gesuchte Tensor ist also bei unserer besonderen Koordinatenwahl gegeben durch die Komponenten

$$\begin{matrix} -p & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -p & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -p & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \rho_0(1+P). \end{matrix}$$

Bei beliebig gewähltem Bezugssystem geht dieser Tensor offenbar über in:

$$\mathfrak{T}_\sigma^\nu = -p\,\delta_\sigma^\nu\sqrt{-g} + \rho_0\sqrt{-g}\,(1+p+P)\,\frac{dx_\nu}{ds}\sum_\mu g_{\sigma\mu}\frac{dx_\mu}{ds}. \quad (48\text{a})$$

Denn ρ_0, p und P sind in ihrer Definition nach Skalare. Setzen wir zur Abkürzung

$$\rho_0\sqrt{-g}\,(1+p+P) = \rho^*,$$

so ergeben die Gleichungen (42a)

$$-\sqrt{-g}\,\frac{\partial p}{\partial x_\sigma} + \sum_{\mu\nu}\frac{\partial}{\partial x_\nu}\left(\rho^* g_{\sigma\mu}\frac{dx_\mu}{ds}\frac{dx_\nu}{ds}\right) = \frac{1}{2}\sum_{\mu\nu}\rho^*\frac{\partial g_{\mu\nu}}{\partial x_\sigma}\frac{dx_\mu}{ds}\frac{dx_\nu}{ds} + \mathfrak{K}_\sigma. \quad (53)$$

Diese vier Gleichungen bestimmen die fünf unbekannten Funktionen p und $\frac{dx_\nu}{ds}$, da zwischen letzten die Beziehung

$$\sum g_{\mu\nu}\frac{dx_\mu}{ds}\frac{dx_\nu}{ds} = 1$$

besteht, und ρ bei bekannter adiabatischer Zustandsgleichung der Flüssigkeit eine bekannte Funktion von p ist. Die $g_{\mu\nu}$ und $\mathfrak{K}_\sigma$ sind als bekannt anzusehen. Die Gleichungen (53) ersetzen die Eulerschen Gleichungen inklusive der Kontinuitätsgleichung; das läßt sich durch Spezialisierung auf den Fall der ursprünglichen Relativitätstheorie leicht beweisen, wenn man noch die daraus entspringenden Vernachlässigungen einführt, daß die Geschwindigkeiten stets klein gegen die Lichtgeschwindigkeit sind, und daß die Drucke so klein sind, daß sie die Trägheit nicht merklich beeinflussen.

§ 11. Die elektromagnetischen Gleichungen.

Die Überlegungen, die zu den allgemein kovarianten Gesetzen der elektromagnetischen Vorgänge führen, sind denjenigen, die bei Einreihung des Gebietes in die ursprüngliche Relativitätstheorie angestellt werden müssen, ganz analog, so daß wir uns kurz fassen können.

Elektromagnetische Gleichungen für das Vakuum. Es seien $\mathfrak{F}^{\mu\nu}$ und $\mathfrak{F}^{\mu\nu*}$ zwei duale, kontravariante V-Sechservektoren (vgl. (24)). Aus (40) folgt dann, daß die Ausdrücke

$$\sum_\nu \frac{\partial \mathfrak{F}^{\mu\nu}}{\partial x_\nu}, \sum_\nu \frac{\partial \mathfrak{F}^{\mu\nu*}}{\partial x_\nu}$$

die Komponenten kontravarianter V-Vierervektoren sind. Durch Nullsetzen dieser Komponenten erhält man die MAXWELLschen Gleichungen für das Vakuum in allgemein kovarianter Gestalt. Man erkennt in der Tat leicht, daß diese Gleichungen in die MAXWELLschen übergehen, wenn man die Komponenten von $\mathfrak{F}^{\mu\nu}$ und $\mathfrak{F}^{\mu\nu*}$ nach den Schemen

$\mathfrak{F}^{23}$	$\mathfrak{F}^{31}$	$\mathfrak{F}^{12}$	$\mathfrak{F}^{14}$	$\mathfrak{F}^{24}$	$\mathfrak{F}^{34}$
$\mathfrak{h}_x$	$\mathfrak{h}_y$	$\mathfrak{h}_z$	$-\mathfrak{e}_x$	$-\mathfrak{e}_y$	$-\mathfrak{e}_z$

$\mathfrak{F}^{23*}$	$\mathfrak{F}^{31*}$	$\mathfrak{F}^{12*}$	$\mathfrak{F}^{14*}$	$\mathfrak{F}^{24*}$	$\mathfrak{F}^{34*}$
$-\mathfrak{e}^*_x$	$-\mathfrak{e}^*_y$	$-\mathfrak{e}^*_z$	$-\mathfrak{h}^*_x$	$-\mathfrak{h}^*_y$	$-\mathfrak{h}^*_z$

bezeichnet und berücksichtigt, daß gemäß (24)

$$\mathfrak{h}^* = \mathfrak{h}$$
$$\mathfrak{e}^* = \mathfrak{e}$$

ist, wenn den $g_{\mu\nu}$ die speziellen Werte (18) gegeben werden.

Ladungsdichte, Konvektionsstrom. Es gibt offenbar im mitbewegten Normalsystem eine elektrische Ladungsdichte; diese ist ihrer Definition gemäß ein Skalar. Den durch Multiplikation mit $\sqrt{-g}$ hieraus entstehenden V-Skalar bezeichnen wir mit $\rho_{(e)}$. Aus ihm und dem kontravarianten Vierervektor $\frac{dx_\mu}{ds}$ bilden wir den kontravarianten V-Vierervektor des Konvektionsstromes

$$\rho_{(e)} \frac{dx_\mu}{ds}$$

LORENTZsche Gleichungen für das Vakuum. Führt man im LORENTZschen Sinne alle Wechselwirkungen zwischen Materie und elektromagnetischem Felde auf Bewegung elektrischer Ladungen zurück, so wird man sich auf die Gleichungen

$$\left.\begin{aligned} \sum_\nu \frac{\partial \mathfrak{F}^{\mu\nu}}{\partial x_\nu} &= \rho_e \frac{dx_\mu}{ds} \\ \sum_\nu \frac{\partial \mathfrak{F}^{\mu\nu*}}{\partial x_\nu} &= 0 \end{aligned}\right\} \qquad (54)$$

zu stützen haben. Sie sind die Grundgleichungen der LORENTZschen Elektronentheorie in allgemein kovarianter Gestalt. Sie geben Auf-

schluß über die Gesetze, nach welchen das Gravitationsfeld auf das elektromagnetische Feld einwirkt.

Elektromagnetische Gleichungen bewegter Körper für den Fall, daß nur Körper mit der Dielektrizitätskonstante 1 und der magnetischen Permeabilität 1 berücksichtigt werden. Es mögen elektrische und magnetische Polarisation der Körper nur insofern Berücksichtigung finden, als sie zu elektrischen und magnetischen Ladungsdichten Veranlassung geben; elektrische und magnetische »Polarisationsströme« sollen nicht auftreten. Dagegen sollen elektrische Leitungsströme berücksichtigt werden. Die allgemein kovarianten Feldgleichungen für diesen Fall findet man, indem man auf der rechten Seite der Gleichungen einen elektrischen bzw. magnetischen Konvektionsstrom sowie einen elektrischen Leitungsstrom berücksichtigt.

Es sei ρ_e die Ladungsdichte im vorhin definierten Sinne der Polarisations- und Leitungselektronen zusammen; dann ist $\left(\rho_{(e)}\frac{dx_\mu}{ds}\right)$ der V-Vierervektor des durch Polarisations- und Leitungselektronen zusammen gelieferten Konvektionsstromes.

ρ_m sei im vorher definierten Sinne die magnetische Ladungsdichte, welche von der (starren) magnetischen Polarisation herrührt. $\left(\rho_{(m)}\frac{dx_\mu}{ds}\right)$ ist dann der V-Vierervektor des magnetischen Konvektionsstromes.

Dem Leitungsstrome wird ebenfalls ein V-Vierervektor entsprechen, den wir mit $(\mathfrak{L}^\mu)$ bezeichnen. Er ist dadurch bestimmt, daß im »Normalsystem«

$$\mathfrak{L}^1 = -\lambda\mathfrak{F}^{14} \qquad \mathfrak{L}^2 = -\lambda\mathfrak{F}^{24} \qquad \mathfrak{L}^3 = -\lambda\mathfrak{F}^{34} \qquad \mathfrak{L}^4 = 0$$

und anderseits

$$\frac{dx_1}{ds} = 0 \qquad \frac{dx_2}{ds} = 0 \qquad \frac{dx^3}{ds} = 0 \qquad \frac{dx_4}{ds} = 1$$

ist. Man wird dieser Bedingung gerecht, indem man setzt

$$\mathfrak{L}^\mu = -\lambda\sum_{\alpha\beta} g_{\alpha\beta}\,\mathfrak{F}^{\mu\alpha}\frac{dx_\beta}{ds}\,. \tag{55}$$

Die Feldgleichungen sind dann

$$\left.\begin{aligned} \sum_\nu \frac{\partial\mathfrak{F}^{\mu\nu}}{dx_\nu} &= \rho_{(e)}\frac{dx_\mu}{ds} + \mathfrak{L}^\mu \\ \sum_\nu \frac{\partial\mathfrak{F}^{\mu\nu *}}{dx_\nu} &= \rho_{(m)}\frac{dx_\mu}{ds} \end{aligned}\right\} \tag{56}$$

Feldgleichungen für isotrope, elektrisch und magnetisch polarisierbare, bewegte Körper. Wir modifizieren den soeben betrachteten Fall dahin, daß wir auch elektrische und magnetische Polarisationsströme berücksichtigen. Dabei wird angenommen, daß für das mitbewegte Normalsystem die Komponenten der Feldstärken diesen Polarisationen proportional seien.

Die Feldgleichungen für diesen Fall erhalten wir aus (56), indem wir auf den rechten Seiten von (56) Ausdrücke für den V-Vierervektor des elektrischen bzw. magnetischen Polarisationsstromes hinzufügen. Die elektrische Polarisation stellen wir durch einen kontravarianten V-Vierervektor ($\mathfrak{P}^\mu_{(e)}$) dar, dessen Komponenten für das mitbewegte Normalsystem durch die Gleichungen

$$\mathfrak{P}^1_{(e)} = -\sigma_{(e)}\mathfrak{F}^{14}; \quad \mathfrak{P}^2_{(e)} = -\sigma_{(e)}\mathfrak{F}^{24}; \quad \mathfrak{P}^3_{(e)} = -\sigma_{(e)}\mathfrak{F}^{34}; \quad \mathfrak{P}^4_{(e)} = 0$$

bestimmt sind. Man genügt dieser Festsetzung durch die Gleichung

$$\mathfrak{P}^\mu_{(e)} = -\sigma_{(e)}\sum_{\alpha\beta} g_{\alpha\beta}\mathfrak{F}^{\mu\alpha}\frac{dx_\beta}{ds}. \tag{57}$$

Aus diesem V-Vierervektor bilden wir den V-Sechservektor

$$\mathfrak{P}^{\mu\nu}_{(e)} = \mathfrak{P}^\mu_{(e)}\frac{dx_\nu}{ds} - \mathfrak{P}^\nu_{(e)}\frac{dx_\mu}{ds}, \tag{58}$$

und aus diesem wieder durch Divergenzbildung gemäß (40) den kontravarianten V-Vierervektor

$$\sum_\nu \frac{\partial \mathfrak{P}^{\mu\nu}_{(e)}}{\partial x_\nu} \tag{59}$$

des elektrischen Konvektionsstromes. Wir bemerken, daß für das Normalsystem die Komponenten dieses Vektors

$$\frac{\partial(\sigma_{(e)}\mathfrak{e}_x)}{\partial t} \quad \frac{\partial(\sigma_{(e)}\mathfrak{e}_y)}{\partial t} \quad \frac{\partial(\sigma_{(e)}\mathfrak{e}_z)}{\partial t} \quad -\left(\frac{\partial(\sigma_{(e)}\mathfrak{e}_x)}{\partial x} + \frac{\partial(\sigma_{(e)}\mathfrak{e}_y)}{\partial y} + \frac{\partial(\sigma_{(e)}\mathfrak{e}_z)}{\partial z}\right)$$

sind. Setzt man also (59) auf der rechten Seite der ersten der Gleichungen (56) hinzu, so erhält man Gleichungen, welche für das Normalsystem in diejenigen des ersten MAXWELLschen Gleichungssystems für ruhende Körper übergehen. Hierdurch ist die Berechtigung der Festsetzungen (57), (58), (59) begründet.

Für die magnetische Polarisation setzen wir analog fest:

$$\mathfrak{P}^\mu_{(m)} = -\sigma_{(m)}\sum_{\alpha} g_{\alpha\beta}\mathfrak{F}^{\mu\alpha *}\frac{dx_\beta}{ds} \tag{57a}$$

$$\mathfrak{P}^{\mu\nu}_{(m)} = \mathfrak{P}^\mu_{(m)}\frac{dx_\nu}{ds} - \mathfrak{P}^\nu_{(m)}\frac{dx_\mu}{ds}, \tag{58a}$$

woraus sich die Komponenten des V-Vierervektors des magnetischen Polarisationsstromes

$$\sum_\nu \frac{\partial \mathfrak{P}^{\mu\nu}_{(m)}}{\partial x_\nu} \tag{59a}$$

ergeben.

Es ergeben sich also die Feldgleichungen

$$\left.\begin{aligned} \sum_\nu \frac{\partial(\mathfrak{F}^{\mu\nu} - \mathfrak{P}^{\mu\nu}_{(e)})}{\partial x_\nu} &= \rho_{(e)} \frac{dx_{(\mu)}}{ds} + \mathfrak{L}^\mu \\ \sum_\nu \frac{\partial(\mathfrak{F}^{\mu\nu *} - \mathfrak{P}^{\mu\nu}_{(m)})}{\partial x_\nu} &= \rho_{(m)} \frac{dx_\mu}{ds}, \end{aligned}\right\} \tag{60}$$

wobei die $\mathfrak{P}^{\mu\nu}_{(e)}$, $\mathfrak{P}^{\mu\nu}_{(m)}$, $\mathfrak{L}^\mu$ mit dem Sechservektor des Feldes durch die Relationen

$$\left.\begin{array}{l|l|l} \mathfrak{P}^\mu_{(e)} = -\sigma_{(e)} \sum\limits_{\alpha\beta} g_{\alpha\beta} \mathfrak{F}^{\mu\alpha} \frac{dx_\beta}{ds} & \mathfrak{P}^\mu_{(m)} = -\sigma_{(m)} \sum\limits_{\alpha\beta} g_{\alpha\beta} \mathfrak{F}^{\mu\alpha *} \frac{dx_\beta}{ds} & \mathfrak{L}^\mu = -\lambda \sum\limits_{\alpha\beta} g_{\alpha\beta} \mathfrak{F}^{\mu\alpha} \frac{dx_\beta}{ds} \\ \mathfrak{P}^{\mu\nu}_{(e)} = \mathfrak{P}^\mu_{(e)} \frac{dx_\nu}{ds} - \mathfrak{P}^\nu_{(e)} \frac{dx_\mu}{ds} & \mathfrak{P}^{\mu\nu}_{(m)} = \mathfrak{P}^\mu_{(m)} \frac{dx_\nu}{ds} - \mathfrak{P}^\nu_{(m)} \frac{dx_\mu}{ds} & \end{array}\right\} \tag{60a}$$

verbunden sind.

Auch einer Durchführung der Impuls-Energie-Bilanz im Sinne der Gleichung (42a) steht keine Schwierigkeit entgegen. Die bisherigen Ausführungen zeigen aber zur Genüge, wie man bei der Umwandlung bereits bekannter Naturgesetze in absolut kovariante vorzugehen hat.

D. Die Differentialgesetze des Gravitationsfeldes.

Im letzten Abschnitt wurden die Koeffizienten $g_{\mu\nu}$, welche physikalisch als Komponenten des Gravitationspotentials aufzufassen sind, als gegebene Funktionen der x_ν betrachtet. Es sind noch die Differentialgesetze aufzusuchen, welchen diese Größen genügen. Das erkenntnistheoretisch Befriedigende der bisher entwickelten Theorie liegt darin, daß dieselbe dem Relativitätsprinzip in dessen weitgehendster Bedeutung Genüge leistet. Dies beruht, formal betrachtet, darauf, daß die Gleichungssysteme allgemein, d. h. beliebigen Substitutionen der x_ν gegenüber, kovariant sind.

Es scheint hiernach die Forderung geboten, daß auch die Differentialgesetze für die $g_{\mu\nu}$ allgemein kovariant sein müssen. Wir wollen aber zeigen, daß wir diese Forderung einschränken müssen, wenn wir dem Kausalgesetz vollständig Genüge leisten wollen. Wir beweisen nämlich, daß Gesetze, welche den Ablauf des Geschehens im Gravitationsfelde bestimmen, unmöglich allgemein kovariant sein können.

§ 12. Beweis von der Notwendigkeit einer Einschränkung der Koordinatenwahl.

Wir betrachten einen endlichen Teil Σ des Kontinuums, in welchem ein materieller Vorgang nicht stattfindet. Das physikalische Geschehen in Σ ist dann vollständig bestimmt, wenn in bezug auf ein zur Beschreibung benutztes Koordinatensystem K die Größen $g_{\mu\nu}$ als Funktion der x_ν gegeben werden. Die Gesamtheit dieser Funktionen werde symbolisch durch $G(x)$ bezeichnet.

Es werde ein neues Koordinatensystem K' eingeführt, welches außerhalb Σ mit K übereinstimme, innerhalb Σ aber von K abweiche, derart, daß die auf K' bezogenen $g'_{\mu\nu}$ wie die $g_{\mu\nu}$ (nebst ihren Ableitungen) überall stetig sind. Die Gesamtheit der $g'_{\mu\nu}$ bezeichnen wir symbolisch durch $G'(x')$. $G'(x')$ und $G(x)$ beschreiben das nämliche Gravitationsfeld. Ersetzen wir in den Funktionen $g'_{\mu\nu}$ die Koordinaten x'_ν durch die Koordinaten x_ν, d. h. bilden wir $G'(x)$, so beschreibt $G'(x)$ ebenfalls ein Gravitationsfeld bezüglich K, welches aber nicht übereinstimmt mit dem tatsächlichen (bzw. ursprünglich gegebenen) Gravitationsfelde.

Setzen wir nun voraus, daß die Differentialgleichungen des Gravitationsfeldes allgemein kovariant sind, so sind sie für $G'(x')$ erfüllt (bezüglich K'), wenn sie bezüglich K für $G(x)$ erfüllt sind. Sie sind dann also auch bezüglich K für $G'(x)$ erfüllt. Bezüglich K existierten dann die voneinander verschiedenen Lösungen $G(x)$ und $G'(x)$, trotzdem an den Gebietsgrenzen beide Lösungen übereinstimmten, d. h. durch allgemein kovariante Differentialgleichungen für das Gravitationsfeld kann das Geschehen in demselben nicht eindeutig festgelegt werden.

Verlangen wir daher, daß der Ablauf des Geschehens im Gravitationsfelde durch die aufzustellenden Gesetze vollständig bestimmt sei, so sind wir genötigt, die Wahl des Koordinatensystems derart einzuschränken, daß es ohne Verletzung der einschränkenden Bedingungen unmöglich ist, ein neues Koordinatensystem K' von der vorhin charakterisierten Art einzuführen. Die Fortsetzung des Koordinatensystems ins Innere eines Gebietes Σ hinein darf nicht willkürlich sein.

§ 13. Kovarianz bezüglich linearer Transformationen. Angepaßte Koordinatensysteme.

Nachdem wir gesehen haben, daß das Koordinatensystem Bedingungen zu unterwerfen ist, müssen wir einige Arten der Spezialisierung der Koordinatenwahl ins Auge fassen. Eine sehr weitgehende Spezialisierung erhält man, wenn man nur lineare Transformationen zuläßt. Würden wir von den Gleichungen der Physik nur verlangen, daß sie

linearen Transformationen gegenüber kovariant sein müssen, so würde unsere Theorie ihre Hauptstütze einbüßen. Denn eine Transformation auf ein beschleunigtes oder rotierendes System würde dann keine berechtigte Transformation sein, und die in § 1 hervorgehobene physikalische Gleichwertigkeit des »Zentrifugalfeldes« und Schwerefeldes würde durch die Theorie nicht auf eine Wesensgleichheit zurückgeführt. Anderseits aber ist es (wie sich im folgenden zeigen wird) vorteilhaft, zu fordern, daß zu den berechtigten Transformationen auch die linearen gehören. Es sei daher zunächst kurz einiges gesagt über die Modifikation, welche die im Absatz B dargelegte Kovariantentheorie erfährt, wenn statt beliebiger nur lineare Transformationen als berechtigte zugelassen werden.

Kovarianten bezüglich linearer Transformationen. Die in § 3 bis § 8 dargestellten algebraischen Eigenschaften der Tensoren werden dadurch, daß man nur lineare Transformationen zuläßt, nicht vereinfacht; hingegen vereinfachen sich die Regeln für die Bildung der Tensoren durch Differentiation (§ 9) bedeutend.

Es ist nämlich allgemein

$$\frac{\partial}{\partial x'_\sigma} = \sum_\tau \frac{\partial x_\tau}{\partial x'_\sigma} \frac{\partial}{\partial x_\tau}.$$

Also ist z. B. für einen kovarianten Tensor zweiten Ranges gemäß (§ 5a)

$$\frac{\partial A'_{\mu\nu}}{\partial x'_\sigma} = \sum_{\alpha\beta\tau} \frac{\partial x_\tau}{\partial x'_\sigma} \frac{\partial}{\partial x_\tau}\left(\frac{\partial x_\alpha}{\partial x'_\mu} \frac{\partial x_\beta}{\partial x'_\nu} A_{\alpha\beta}\right).$$

Für lineare Substitutionen sind die Ableitungen $\frac{\partial x_\alpha}{\partial x'_\mu}$ usw. von den x_τ unabhängig, so daß man hat

$$\frac{\partial A'_{\mu\nu}}{\partial x'_\sigma} = \sum_{\alpha\beta\tau} \frac{\partial x_\alpha}{\partial x'_\mu} \frac{\partial x_\beta}{\partial x'_\nu} \frac{\partial x_\tau}{\partial x'_\sigma} \frac{\partial A_{\alpha\beta}}{\partial x_\tau}.$$

$\left(\frac{\partial A_{\alpha\beta}}{\partial x_\tau}\right)$ ist also ein kovarianter Tensor dritten Ranges.

Allgemein kann gezeigt werden, daß man durch Differentiation der Komponenten eines beliebigen Tensors nach den Koordinaten wieder einen Tensor erhält, dessen Rang um 1 erhöht ist, wobei der hinzutretende Index kovarianten Charakter hat. Dies ist also die Operation der Erweiterung bei Beschränkung auf lineare Transformationen. Da die Erweiterung in Verbindung mit den algebraischen Operationen die Grundlage für die Kovariantenbildung überhaupt bildet, beherrschen wir damit das System der Kovarianten bezüglich linearer Transforma-

tionen. Wir wenden uns nun zu einer Überlegung, die zu einer viel weniger weitgehenden Beschränkung der Koordinatenwahl hinführt.

Transformationsgesetz des Integrals I. Es sei H eine Funktion der $g^{\mu\nu}$ und ihrer ersten Ableitungen $\frac{\partial g^{\mu\nu}}{\partial x_\sigma}$, die wir zur Abkürzung auch $g^{\mu\nu}_\sigma$ nennen. I bezeichne das über einen endlichen Teil Σ des Kontinuums erstreckte Integral

$$J = \int H\sqrt{-g}\,d\tau \tag{61}$$

Das zunächst benutzte Koordinatensystem sei K_1. Wir fragen nach der Änderung ΔJ, welche J erfährt, wenn man vom System K_1 auf das unendlich wenig verschiedene Koordinatensystem K_2 übergeht. Bezeichnet man mit $\Delta\phi$ den Zuwachs, welchen die beliebige, auf einen Punkt des Kontinuums sich beziehende Größe ϕ bei der Transformation erleidet, so hat man zunächst gemäß (17)

$$\Delta(\sqrt{-g}\,d\tau) = 0 \tag{62}$$

und ferner

$$\Delta H = \sum_{\mu\nu\sigma}\left(\frac{\partial H}{\partial g^{\mu\nu}}\Delta g^{\mu\nu} + \frac{\partial H}{\partial g^{\mu\nu}_\sigma}\Delta g^{\mu\nu}_\sigma\right). \tag{62a}$$

Die $\Delta g^{\mu\nu}$ lassen sich vermöge (8) durch die Δx_μ ausdrücken, indem man die Beziehungen

$$\Delta g^{\mu\nu} = g^{\mu\nu\prime} - g^{\mu\nu}$$
$$\Delta x_\mu = x'_\mu - x_\mu$$

berücksichtigt. Man erhält

$$\Delta g^{\mu\nu} = \sum_\alpha\left(g^{\mu\alpha}\frac{\partial\Delta x_\nu}{\partial x_\alpha} + g^{\nu\alpha}\frac{\partial\Delta x_\mu}{\partial x_\alpha}\right) \tag{63}$$

$$\Delta g^{\mu\nu}_\sigma = \sum_\alpha\left\{\frac{\partial}{\partial x_\sigma}\left(g^{\mu\alpha}\frac{\partial\Delta x_\nu}{\partial x_\alpha} + g^{\nu\alpha}\frac{\partial\Delta x_\mu}{\partial x_\alpha}\right) - \frac{\partial g^{\mu\nu}}{\partial x_\alpha}\,\frac{\partial\Delta x_\alpha}{\partial x_\sigma}\right\}. \tag{63a}$$

Die Gleichungen (62a), (63), (63a) liefern ΔH als lineare homogene Funktion der ersten und zweiten Ableitungen der Δx_μ nach den Koordinaten.

Bisher haben wir über die Art, wie H von den $g^{\mu\nu}$ und $g^{\mu\nu}_\sigma$ abhängen soll, noch keine Festsetzung getroffen. Wir nehmen nun an, daß H bezüglich linearer Transformationen eine Invariante sei; d. h. ΔH soll verschwinden, falls die $\frac{\partial^2\Delta x_\mu}{\partial x_\alpha\partial x_\sigma}$ verschwinden. Unter dieser Voraussetzung erhalten wir

$$\frac{1}{2}\Delta H = \sum_{\mu\nu\sigma\alpha} g^{\nu\alpha}\frac{\partial H}{\partial g^{\mu\nu}_\sigma}\,\frac{\partial^2\Delta x_\mu}{\partial x_\sigma\partial x_\alpha}\,. \tag{64}$$

Mit Hilfe von (64) und (62) erhält man

$$\frac{1}{2}\Delta J = \int d\tau \sum_{\mu\sigma\nu\alpha} g^{\nu\alpha} \frac{\partial H\sqrt{-g}}{\partial g^{\mu\nu}_{\sigma}} \frac{\partial^2 \Delta x_\mu}{\partial x_\alpha \partial x_\sigma},$$

und hieraus durch partielle Integration:

$$\frac{1}{2}\Delta J = \int d\tau \sum_{\mu} (\Delta x_\mu B_\mu) + F, \tag{65}$$

wobei gesetzt ist

$$B_\mu = \sum_{\alpha\sigma\nu} \frac{\partial^2}{\partial x_\sigma \partial x_\alpha}\left(g^{\nu\alpha} \frac{\partial H\sqrt{-g}}{\partial g^{\mu\nu}_{\sigma}}\right) \tag{65a}$$

$$F = \int d\tau \sum_{\alpha\sigma\nu} \frac{\partial}{\partial x_\alpha}\left[g^{\nu\alpha} \frac{\partial H\sqrt{-g}}{\partial g^{\mu\nu}_{\sigma}} \frac{\partial \Delta x_\mu}{\partial x_\sigma} - \frac{\partial}{\partial x_\sigma}\left(g^{\nu\sigma} \frac{\partial H\sqrt{-g}}{\partial g^{\mu\nu}_{\alpha}}\right)\Delta x_\mu\right]. \tag{65b}$$

F läßt sich in ein Oberflächenintegral verwandeln. Es verschwindet, wenn an der Begrenzung die Δx_μ und $\frac{\partial \Delta x_\mu}{\partial x_\sigma}$ verschwinden.

Angepaßte Koordinatensysteme. Wir betrachten wieder den nach allen Koordinaten endlichen Teil Σ unseres Kontinuums, der zunächst auf das Koordinatensystem K bezogen sei. Von diesem Koordinatensystem K ausgehend, denke man sich sukzessive, einander unendlich benachbarte Koordinatensysteme K', K'' usw. eingeführt, derart, daß für den Übergang von jedem System zu dem folgenden die Δx_μ und $\frac{\partial \Delta x_\mu}{\partial x_\alpha}$ an der Begrenzung verschwinden. Wir nennen alle diese Systeme »Koordinatensystem mit übereinstimmenden Begrenzungskoordinaten«. Für jede infinitesimale Koordinatentransformation zwischen benachbarten Koordinatensystemen der Gesamtheit K, K', $K''\cdots$ ist

$$F = 0,$$

so daß hier statt (65) die Gleichung

$$\frac{1}{2}\Delta J = -\int d\tau\, \Delta x_\mu B_\mu \tag{66}$$

tritt. Unter allen Systemen mit übereinstimmenden Begrenzungskoordinaten wird es solche geben, für welche J ein Extremum ist gegenüber den J-Werten aller benachbarten Systeme mit übereinstimmenden Begrenzungskoordinaten; solche Koordinatensysteme nennen wir »dem Gravitationsfeld angepaßte Koordinntensysteme«. Für angepaßte Systeme gelten nach (66), weil die Δx_μ im Innern von Σ frei wählbar sind, die Gleichungen

$$B_\mu = 0. \tag{67}$$

Umgekehrt ist (67) hinreichende Bedingung dafür, daß das Koordinatensystem ein dem Gravitationsfeld angepaßtes ist.

Indem wir im folgenden Differenzialgleichungen des Gravitationsfeldes aufstellen, welche nur für angepaßte Koordinatensysteme Gültigkeit beanspruchen, vermeiden wir die im § 13 dargelegte Schwierigkeit. In der Tat ist es bei Beschränkung auf angepaßte Koordinatensysteme nicht gestattet, ein außerhalb Σ gegebenes Koordinatensystem ins Innere von Σ in beliebiger Weise stetig fortzusetzen.

§ 14. Der H-Tensor.

Die Gleichung (65) führt uns zu einem Satze, der für die ganze Theorie von fundamentaler Bedeutung ist. Wenn wir das Gravitationsfeld der $g_{\mu\nu}$ unendlich wenig variieren, d. h. die $g_{\mu\nu}$ durch $g^{\mu\nu}+\delta g^{\mu\nu}$ ersetzen, wobei die $\delta g^{\mu\nu}$ in einer endlich breiten, der Begrenzung von Σ anliegenden Zone verschwinden mögen, so wird H in $H+\delta H$ und das Integral J in $J+\delta J$ übergehen. Wir behaupten nun, daß stets die Gleichung

$$\Delta\{\delta J\}=0 \tag{68}$$

gilt, wie die $\delta g_{\mu\nu}$ auch gewählt werden mögen, falls nur die Koordinatensysteme (K_1 und K_2) bezüglich des unvariierten Gravitationsfeldes angepaßte Koordinatensysteme sind; d. h. bei Beschränkung auf angepaßte Koordinatensysteme ist δJ eine Invariante.

Zum Beweise denken wir uns die Variationen $\delta g^{\mu\nu}$ aus zwei Teilen zusammengesetzt; wir schreiben also

$$\delta g^{\mu\nu}=\delta_1 g^{\mu\nu}+\delta_2 g^{\mu\nu}, \tag{69}$$

welche Teilvariationen in folgender Weise gewählt werden:

a) Die $\delta_1 g^{\mu\nu}$ seien so gewählt, daß das Koordinatensystem K_1 nicht nur dem (wirklichen) Gravitationsfelde der $g^{\mu\nu}$, sondern auch dem (variierten) Gravitationsfelde der $g^{\mu\nu}+\delta g^{\mu\nu}$ angepaßt sei. Es bedeutet dies, daß nicht nur die Gleichung

$$B_\mu=0,$$

sondern auch die Gleichungen

$$\delta_1 B_\mu=0 \tag{70}$$

gelten soll. Die $\delta_1 g^{\mu\nu}$ sind also nicht voneinander unabhängig, sondern es bestehen zwischen ihnen 4 Differentialgleichungen.

b) Die $\delta_2 g^{\mu\nu}$ seien so gewählt, wie sie ohne Änderung des Gravitationsfeldes durch bloße Variation des Koordinatensystems erzielt werden könnten, und zwar durch eine Variation in demjenigen Teilgebiete von Σ, in welchem die $\delta g^{\mu\nu}$ von Null verschieden sind. Eine derartige Varia-

tion ist durch vier voneinander unabhängige Funktionen (Variationen der Koordinaten) bestimmt. Es ist klar, daß im allgemeinen $\delta_2 B_\mu \neq 0$ ist.

Die Superposition dieser beiden Variationen ist also durch

$$(10-4)+4 = 10$$

voneinander unabhängige Funktionen bestimmt; sie wird also einer beliebigen Variation der $\delta g^{\mu\nu}$ äquivalent sein. Der Beweis unseres Satzes ist also geleistet, wenn Gleichung (68) für beide Teilvariationen bewiesen ist.

Beweis für die Variation δ_1: Durch δ_1-Variation von (65) erhält man unmittelbar

$$\frac{1}{2}\Delta(\delta_1 J) = \int d\tau \sum_\mu (\Delta x_\mu \delta_1 B_\mu) + \delta_1 F. \qquad (65\text{a})$$

Da an der Begrenzung von Σ die δ_1-Variationen der $g^{\mu\nu}$ und ihrer sämtlichen Ableitungen verschwinden, so verschwindet gemäß (65b) die in ein Oberflächenintegral verwandelbare Größe $\delta_1 F$. Hiernach und nach (70) geht (65a) über in die behauptete Beziehung

$$\Delta(\delta_1 J) = 0. \qquad (68\text{a})$$

Beweis für die Variation δ_2: Die Variation $\delta_2 J$ entspricht einer infinitesimalen Koordinatentransformation bei festgehaltenen Begrenzungskoordinaten. Da das Koordinatensystem bezüglich des unvariierten Gravitationsfeldes ein angepaßtes sein soll, so ist also gemäß der Definition des angepaßten Koordinatensystems

$$\delta_2 J = 0.$$

Es werde zunächst angenommen, daß die betrachtete Variation des Gravitationsfeldes bezüglich des Koordinatensystems K_1 als eine δ_2-Variation gewählt sei; dann ist also zunächst

$$\delta_2(J_1) = 0.$$

Ist diese Variation dann auch bezüglich K_2 eine δ_2-Variation, was nachher bewiesen werden wird, so gilt bezüglich K_2 die analoge Gleichung

$$\delta_2(J_2) = 0.$$

Durch Subtraktion folgt dann die zu beweisende Gleichung

$$\delta_2(\Delta J) = \Delta(\delta_2 J) = 0. \qquad (68\text{b})$$

Es ist noch der Nachweis zu erbringen, daß die betrachtete Variation auch bezüglich K_2 eine δ_2-Variation ist. Wir bezeichnen symbolisch mit G_1 bzw. G_2 die unvariierten, auf K_1 bzw. K_2 bezogenen Tensoren der $g^{\mu\nu}$, mit G_1^* bzw. G_2^* die variierten, auf K_1 bzw. K_2 bezogenen Tensoren $g^{\mu\nu}$. Von G_1 zu G_2 bzw. von G_1^* zu G_2^* gelangt man durch die Koordinatentransformation T; die inverse Substitution sei T^{-1}. Ferner gelange man von G_1 zu G_1^* durch die Koordinatentransformation t. Dann erhält man G_2^* aus G_2 durch die Aufeinanderfolge

$$T^{-1} - t - T$$

von Transformationen, also wieder durch eine Koordinatentransformation. Damit ist gezeigt, daß die betrachtete Variation der $g^{\mu\nu}$ auch bezüglich K_2 eine δ_2-Variation ist.

Aus (68a) und (68b) folgt endlich die zu beweisende Gleichung (68).

Aus dem bewiesenen Satze leiten wir die Existenz eines aus 10 Komponenten bestehenden Komplexes ab, der bei Beschränkung auf angepaßte Koordinatensysteme Tensorcharakter besitzt. Nach (61) hat man

$$\begin{aligned} \delta J &= \delta\left\{\int H\sqrt{-g}\,d\tau\right\} \\ &= \int d\tau \sum_{\mu\nu\tau}\left\{\frac{\partial(H\sqrt{-g})}{\partial g^{\mu\nu}}\delta g^{\mu\nu} + \frac{\partial(H\sqrt{-g})}{\partial g_\tau^{\mu\nu}}\delta g_\tau^{\mu\nu}\right\} \end{aligned}$$

oder, da $\delta g_\tau^{\mu\nu} = \frac{\partial}{\partial x_\tau}(\delta g^{\mu\nu})$, nach partieller Integration und mit Rücksicht darauf, daß die $\delta(g^{\mu\nu})$ an der Begrenzung verschwinden.

$$\delta J = \int d\tau \sum_{\mu\nu} \delta g^{\mu\nu}\left\{\frac{\partial H\sqrt{-g}}{\partial g^{\mu\nu}} - \sum_\tau \frac{\partial}{\partial x_\tau}\left(\frac{\partial H\sqrt{-g}}{\partial g_\tau^{\mu\nu}}\right)\right\} \tag{71}$$

Wir haben nun bewiesen, daß δJ bei Beschränkung auf angepaßte Koordinatensysteme eine Invariante ist. Da die $\delta g^{\mu\nu}$ nur in einem unendlich kleinen Gebiete von Null verschieden zu sein brauchen und $\sqrt{-g}\,d\tau$ ein Skalar ist, so ist auch der durch $\sqrt{-g}$ dividierte Integrand eine Invariante, d. h. die Größe

$$\frac{1}{\sqrt{-g}}\sum \delta g^{\mu\nu}\mathfrak{E}_{\mu\nu}, \tag{72}$$

wobei

$$\mathfrak{E}_{\mu\nu} = \frac{\partial H\sqrt{-g}}{\partial g^{\mu\nu}} - \sum_\tau \frac{\partial}{\partial x_\tau}\left(\frac{\partial H\sqrt{-g}}{\partial g_\tau^{\mu\nu}}\right) \tag{73}$$

gesetzt ist. Nun ist aber $\delta g^{\mu\nu}$ ebenso wie $g^{\mu\nu}$ ein kontravarianter Tensor, und es sind die Verhältnisse der $\delta g^{\mu\nu}$ frei wählbar. Daraus folgt, daß

$$\frac{\mathfrak{E}_{\mu\nu}}{\sqrt{-g}}$$

bei Beschränkung auf angepaßte Koordinatensysteme und Substitutionen zwischen solchen ein kovarianter Tensor, $\mathfrak{E}_{\mu\nu}$ selbst der entsprechende kovariante V-Tensor ist, und zwar nach (73) ein symmetrischer Tensor.

§ 15. Ableitung der Feldgleichungen.

Es liegt die Annahme nahe, daß in den gesuchten Feldgleichungen der Gravitation, welche an die Stelle der Poissonschen Gleichung der Newtonschen Theorie zu treten haben, der Tensor $\mathfrak{E}_{\mu\nu}$ eine fundamentale Rolle spiele. Denn wir haben nach den Überlegungen der §§ 13 und 14 zu fordern, daß die gesuchten Gleichungen — ebenso wie der Tensor $\mathfrak{E}_{\mu\nu}$ — nur bezüglich angepaßter Koordinatensysteme kovariant seien. Da wir ferner im Anschluß an (42a) gesehen haben, daß für die Einwirkung des Gravitationsfeldes auf die Materie der Energietensor $\mathfrak{T}_\nu^\sigma$ maßgebend ist, so werden die gesuchten Gleichungen in einer Verknüpfung der Tensoren $\mathfrak{E}_{\mu\nu}$ und $\mathfrak{T}_\nu^\sigma$ bestehen. Es liegt also nahe, die gesuchten Gleichungen so anzusetzen:

$$\mathfrak{E}_{\sigma\tau} = \varkappa \mathfrak{T}_{\sigma\tau} \tag{74}$$

Dabei ist $\varkappa$ eine universelle Konstante und $\mathfrak{T}_{\sigma\tau}$ der symmetrische kovariante V-Tensor, der zu dem gemischten Energietensor $\mathfrak{T}_\sigma^\nu$ gehört, gemäß der Relation

$$\left.\begin{aligned} \mathfrak{T}_{\sigma\tau} &= \sum_\nu g_{\nu\tau} \mathfrak{T}_\sigma^\nu \\ \text{bzw. } \mathfrak{T}_\sigma^\nu &= \sum_\tau \mathfrak{T}_{\sigma\tau} g^{\nu\tau} \end{aligned}\right\} \tag{75}$$

Bestimmung der Funktion H. Damit sind die gesuchten Gleichungen insofern noch nicht vollständig gegeben, als wir die Funktion H noch nicht festgelegt haben. Wir wissen bisher nur, daß H von den $g^{\mu\nu}$ und $g_\sigma^{\mu\nu}$ allein abhängt und bezüglich linearer Transformationen ein Skalar ist[1]. Eine weitere Bedingung, welcher H genügen muß, erhalten wir auf folgendem Wege.

Ist $\mathfrak{T}_\sigma^\nu$ der Energietensor des gesamten, in dem betrachteten Gebiete vorhandenen materiellen Vorganges, so verschwindet in (42a) der V-Vierervektor ($\mathfrak{K}_\sigma$) der Kraftdichte. (42a) sagt dann aus, daß die Divergenz des Energietensors $\mathfrak{T}_\sigma^\nu$ des materiellen Vorganges verschwindet; gleiches gilt dann gemäß (74) für den Tensor $\mathfrak{E}_{\sigma\tau}$, bzw. für den aus

[1] Ohne die letztere, in § 14 eingeführte Beschränkung hätten wir für B_μ nicht den in (65a) gegebenen Ausdruck gefunden; die im folgenden im Texte angegebene Betrachtung zur Bestimmung von H scheitert, wenn man jene Beschränkung fallen läßt. Hierin liegt ihre Rechtfertigung.

demselben zu bildenden gemischten V-Tensor $\mathfrak{E}_\sigma^\nu$. Es muß also für jedes Gravitationsfeld die Beziehung erfüllt sein (vgl. (41b) und (34)).

$$\sum_{\nu\tau} \frac{\partial}{\partial x_\nu}(g^{\nu\tau}\mathfrak{E}_{\sigma\tau}) + \frac{1}{2}\sum_{\mu\nu} \frac{\partial g^{\mu\nu}}{\partial x_\sigma}\mathfrak{E}_{\mu\nu} = 0 .$$

Diese Beziehung läßt sich auf Grund von (73) und (65a) in die Form bringen:

$$\sum_\nu \frac{\partial S_\sigma^\nu}{\partial x_\nu} - B_\sigma = 0, \tag{76}$$

wobei

$$S_\sigma^\nu = \sum_{\mu\tau}\left(g^{\nu\tau}\frac{\partial H\sqrt{-g}}{\partial g^{\sigma\tau}} + g_\mu^{\nu\tau}\frac{\partial H\sqrt{-g}}{\partial g_\mu^{\sigma\tau}} + \frac{1}{2}\delta_\sigma^\nu H\sqrt{-g} - \frac{1}{2} g_\sigma^{\mu\tau}\frac{\partial H\sqrt{-g}}{\partial g_\nu^{\mu\tau}}\right) \tag{76a}$$

gesetzt ist ($\delta_\sigma^\nu = 1$ bzw. 0, je nachdem $\sigma = \nu$ oder $\sigma \neq \nu$ ist).

Wenn die $\mathfrak{T}_{\sigma\tau}$ gegeben sind, so können die 10 Gleichungen (74) dazu dienen, die 10 Funktionen $g^{\mu\nu}$ zu bestimmen. Außerdem müssen die $g^{\mu\nu}$ aber noch die vier Gleichungen (67) erfüllen, da das Koordinatensystem ein angepaßtes sein soll. Wir haben also mehr Gleichungen als zu suchende Funktionen. Dies geht nur dann an, wenn die Gleichungen nicht alle voneinander unabhängig sind. Es wird gefordert werden müssen, daß die Erfüllung der Gleichungen (74) zur Folge hat, daß auch die Gleichungen (67) erfüllt sind. Ein Blick auf (76) und (76a) zeigt, daß dies dann erreicht ist, wenn S_σ^ν (welche Größe wie H eine Funktion der $g^{\mu\nu}$ und $g_\sigma^{\mu\nu}$ ist) identisch verschwindet für jede Kombination der Indizes. H muß also gemäß den Bedingungen

$$S_\sigma^\nu \equiv 0 \tag{77}$$

gewählt werden.

Ohne einen formalen Grund dafür angeben zu können, fordere ich ferner, daß H eine ganze homogene Funktion zweiten Grades in den $g_\sigma^{\mu\nu}$ sei. Dann ist H bis auf einen konstanten Faktor vollkommen bestimmt. Denn da es bezüglich linearer Transformationen ein Skalar sein soll, muß[1] es mit Rücksicht auf die eben angegebene Festsetzung eine lineare Kombination der folgenden fünf Größen sein:

$$\sum g_{\mu\nu}\frac{\partial g^{\mu\nu}}{\partial x_\sigma}\frac{\partial g^{\sigma\tau}}{\partial x_\tau}; \quad \sum g^{\tau\tau'} g_{\mu\nu}\frac{\partial g^{\mu\nu}}{\partial x_\tau} g_{\mu'\nu'}\frac{\partial g^{\mu'\nu'}}{\partial x_{\tau'}}; \quad \sum g^{\tau\tau'}\frac{\partial g^{\tau\mu}}{\partial x_\mu}\frac{\partial g^{\tau'\nu}}{\partial x_\nu};$$

$$\sum g_{\mu\mu'} g_{\nu\nu'} g^{\tau\tau'}\frac{\partial g^{\mu\nu}}{\partial x_\tau}\frac{\partial g^{\mu'\nu'}}{\partial x_{\tau'}}; \quad \sum g_{\alpha\beta}\frac{\partial g^{\alpha\tau}}{\partial x_\sigma}\frac{\partial g^{\beta\sigma}}{\partial x_\tau} .$$

Die Bedingungen (77) führen endlich dazu, die Funktion H, abgesehen von einem konstanten Faktor der vierten dieser Größen gleich-

---

[1] Der Beweis hierfür ist einfach, aber weitläufig, deshalb lasse ich ihn weg.

zusetzen. Wir setzen daher[1] mit Rücksicht auf (35), indem wir über die Konstante willkürlich verfügen:

$$H = \frac{1}{4}\sum_{\alpha\beta\tau\varrho} g^{\alpha\beta}\frac{\partial g_{\tau\varrho}}{\partial x_\alpha}\frac{\partial g^{\tau\varrho}}{\partial x_\beta}. \qquad (78)$$

Wir beschränken uns darauf, zu zeigen, daß bei dieser Wahl von H Gleichung (77) wirklich erfüllt ist. Mit Hilfe der Relationen

$$dg = g\sum_{\sigma\tau} g^{\sigma\tau}dg_{\sigma\tau} = -g\sum_{\sigma\tau} g_{\sigma\tau}dg^{\sigma\tau}$$

$$dg_{\alpha\beta} = -\sum_{\mu\nu} g_{\alpha\mu}g_{\beta\nu}dg^{\mu\nu}$$

erhält man aus (78)

$$\left.\begin{aligned} \sum_\tau g^{\nu\tau}\frac{\partial H\sqrt{-g}}{\partial g^{\sigma\tau}} &= \frac{1}{2}H\sqrt{-g}\,\delta_\sigma^\nu + \frac{1}{4}\sqrt{-g}\sum_{\mu\mu'\tau} g^{\nu\tau}\frac{\partial g_{\mu\mu'}}{\partial x_\sigma}\frac{\partial g^{\mu\mu'}}{\partial x_\tau} \\ &\quad - \frac{1}{2}\sqrt{-g}\sum_{\varrho\varrho'\kappa} g^{\varrho\varrho'}\frac{\partial g_{\sigma\kappa}}{\partial x_\varrho}\frac{\partial g^{\nu\kappa}}{\partial x_{\varrho'}} \\ \sum_{\mu\tau} g^{\nu\tau}_\mu\frac{\partial H\sqrt{-g}}{\partial g^{\sigma\tau}_\mu} &= \frac{1}{2}\sqrt{-g}\sum_{\varrho\varrho'\kappa} g^{\varrho\varrho'}\frac{\partial g_{\sigma\kappa}}{\partial x_\varrho}\frac{\partial g^{\nu\kappa}}{\partial x_{\varrho'}} \\ \frac{1}{2}\sum_{\mu\tau} g^{\mu\tau}_\sigma\frac{\partial H\sqrt{-g}}{\partial g^{\mu\tau}_\nu} &= \frac{1}{4}\sqrt{-g}\sum_{\mu\mu'\tau} g^{\nu\tau}\frac{\partial g_{\mu\mu'}}{\partial x_\sigma}\frac{\partial g^{\mu\mu'}}{\partial x_\tau}. \end{aligned}\right\} \qquad (79)$$

Hieraus folgt die Behauptung.

Wir sind nun auf rein formalem Wege, d. h. ohne direkte Heranziehung unserer physikalischen Kenntnisse von der Gravitation, zu ganz bestimmten Feldgleichungen gelangt. Um dieselben in ausführlicher Schreibweise zu erhalten, multiplizieren wir (74) mit $g^{\nu\tau}$ und summieren über den Index τ; wir erhalten so mit Rücksicht auf (73)

$$\varkappa\mathfrak{T}_\sigma^\nu = \sum_{\tau\alpha} g^{\nu\tau}\left(\frac{\partial H\sqrt{-g}}{\partial g^{\sigma\tau}} \quad \frac{\partial}{\partial x_\alpha}\left[\frac{\partial H\sqrt{-g}}{\partial g^{\sigma\tau}_\alpha}\right]\right) \qquad (80)$$

oder

$$-\sum_{\alpha\tau}\frac{\partial}{\partial x_\alpha}\left(g^{\nu\tau}\frac{\partial H\sqrt{-g}}{\partial g^{\sigma\tau}_\alpha}\right) = \varkappa\mathfrak{T}_\sigma^\nu + \sum_{\alpha\tau}\left(-g^{\nu\tau}\frac{\partial H\sqrt{-g}}{\partial g^{\sigma\tau}} + g^{\nu\tau}_\alpha\frac{\partial H\sqrt{-g}}{\partial g^{\sigma\tau}_\alpha}\right). \qquad (80a)$$

Dabei gilt, weil unser Koordinatensystem ein angepaßtes ist, gemäß (67) und (65a) die Gleichung

---

[1] Drückt man H durch die Komponenten $\Gamma^\nu_{\sigma\tau}$ des Gravitationsfeldes aus (vgl. (46)), so erhält man $H = -\sum_{\alpha\beta\tau\tau'} g^{\tau\tau'}\Gamma^\beta_{\alpha\tau}\Gamma^\alpha_{\beta\tau'}$.

$$\sum_{\alpha\nu\tau} \frac{\partial}{\partial x_\nu} \frac{\partial}{\partial x_\alpha}\left(g^{\nu\tau} \frac{\partial H\sqrt{-g}}{\partial g_\alpha^{\sigma\tau}}\right) = 0,$$

also mit Rücksicht auf (80) die Gleichung

$$\sum_\nu \frac{\partial}{\partial x_\nu}\left\{\mathfrak{T}_\sigma^\nu + \frac{1}{\varkappa}\sum_{\mu\tau}\left(-g^{\nu\tau}\frac{\partial H\sqrt{-g}}{\partial g^{\sigma\tau}} + g_\sigma^{\mu\tau}\frac{\partial H\sqrt{-g}}{\partial g_\nu^{\mu\tau}}\right)\right\} = 0\,. \quad (80\text{b})$$

Vermöge (78), (79) und (46) können wir an die Stelle der Gleichungen (80a) und (80b) die folgenden setzen

$$\sum_{\alpha\beta} \frac{\partial}{\partial x^\alpha}\left(\sqrt{-g}\, g^{\alpha\beta}\, \Gamma^\nu_{\sigma\beta}\right) = -\varkappa\left(\mathfrak{T}_\sigma^\nu + \mathfrak{t}_\sigma^\nu\right), \quad (81)$$

$$\sum_\nu \frac{\partial}{\partial x_\nu}\left(\mathfrak{T}_\sigma^\nu + \mathfrak{t}_\sigma^\nu\right) = 0, \quad (42\text{c})$$

wobei

$$\Gamma^\nu_{\sigma\beta} = \frac{1}{2}\sum_\tau g^{\nu\tau}\frac{\partial g_{\sigma\tau}}{\partial x_\beta}, \quad (81\text{a})$$

$$\left.\begin{aligned} \mathfrak{t}_\sigma^\nu &= -\frac{\sqrt{-g}}{4\varkappa}\sum_{\mu\mu'\rho\tau}\left(g^{\nu\tau}\frac{\partial g_{\mu\mu'}}{\partial x_\sigma}\frac{\partial g^{\mu\mu'}}{\partial x_\tau} - \frac{1}{2}\delta_\sigma^\nu g^{\rho\tau}\frac{\partial g_{\mu\mu'}}{\partial x_\rho}\frac{\partial g^{\mu\mu'}}{\partial x_\tau}\right) \\ &= \frac{\sqrt{-g}}{\varkappa}\sum_{\mu\rho\tau\tau'}\left(g^{\nu\tau}\Gamma^\rho_{\mu\sigma}\Gamma^\mu_{\rho\tau} - \frac{1}{2}\delta_\sigma^\nu g^{\tau\tau'}\Gamma^\rho_{\mu\tau}\Gamma^\mu_{\rho\tau'}\right) \end{aligned}\right\} \quad (81\text{b})$$

Die Gleichungen (81) in Verbindung mit (81a) und (81b) sind die Differentialgleichungen des Gravitationsfeldes. Die Gleichungen (42c) drücken nach den in § 10 gegebenen Überlegungen die Erhaltungssätze des Impulses und der Energie für Materie und Gravitationsfeld zusammen aus. $\mathfrak{t}_\sigma^\nu$ sind diejenigen auf das Gravitationsfeld bezüglichen Größen, welche den Komponenten $\mathfrak{T}_\sigma^\nu$ des Energietensors (*V*-Tensors) der physikalischen Bedeutung nach analog sind. Es sei hervorgehoben, daß die $\mathfrak{t}_\sigma^\nu$ nicht beliebigen berechtigten, sondern nur linearen Transformationen gegenüber Tensorkovarianz besitzen; trotzdem nennen wir $(\mathfrak{t}_\sigma^\nu)$ den Energietensor des Gravitationsfeldes. Analoges gilt für die Komponenten $\Gamma^\nu_{\sigma\beta}$ der Feldstärke des Gravitationsfeldes.

Das Gleichungssystem (81) läßt trotz seiner Kompliziertheit eine einfache physikalische Interpretation zu. Die linke Seite drückt eine Art Divergenz des Gravitationsfeldes aus. Diese wird — wie die rechte Seite zeigt — bedingt durch die Komponenten des totalen Energietensors. Sehr wichtig ist dabei das Ergebnis, daß der Energietensor des Gravitationsfeldes selbst in gleicher Weise felderregend wirksam ist wie der Energietensor der Materie.

§ 16. Kritische Bemerkungen über die Grundlage der Theorie.

Es liegt im Wesen der abgeleiteten Theorie, daß im Unendlichkleinen überall die ursprüngliche Relativitätstheorie gilt. Dies ist klar, wenn gezeigt ist, daß bei passender Wahl reeller Koordinaten die Größen $g_{\mu\nu}$ in einem beliebig gegebenen Punkte die Werte

$$\begin{matrix} -1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{matrix}$$

annehmen. Es ist das der Fall, wenn die Fläche zweiten Grades

$$\sum_{\mu\nu} g_{\mu\nu} \xi_\mu \xi_\nu = 1$$

für jedes in unserem Kontinuum auftretende Wertsystem der $g_{\mu\nu}$ stets drei imaginäre Achsen und eine reelle Achse besitzt. Sind $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \lambda_4$ die Quadrate der reziproken Halbachsen der Fläche, so erfüllen sie die Gleichung vierten Grades

$$|g_{\mu\nu} - \lambda \delta_\mu^\nu| = 0 = (\lambda_1 - \lambda)(\lambda_2 - \lambda)(\lambda_3 - \lambda)(\lambda_4 - \lambda) .$$

Es ist also

$$\lambda_1 \lambda_2 \lambda_3 \lambda_4 = g .$$

Sollen die Größen $g^{\mu\nu}$ nicht unendliche Werte annehmen, so wird zu fordern sein, daß g nirgends verschwindet; denn die $g^{\mu\nu}$ sind die durch g dividierten Unterdeterminanten der $g_{\mu\nu}$-Determinante. Es kann dann keines der λ je Null werden. Ist also für einen Punkt des Kontinuums $\lambda_1 < 0$, $\lambda_2 < 0$, $\lambda_3 < 0$, $\lambda_4 > 0$, so ist dies überall der Fall; der raumzeitliche Charakter unseres Kontinuums entspricht also in der Umgebung aller Punkte dem in der ursprünglichen Relativitätstheorie zugrunde gelegten Falle. Man kann dies mathematisch so ausdrücken: von vier paarweise zueinander »senkrecht« von einem Punkte weggezogenen Linienelementen ist jeweilen eine »zeitartig«, die drei übrigen »raumartig«.

Damit ist jedoch noch keine Beziehung des Zeitartigen und Raumartigen zu dem Koordinatensystem der x_ν gegeben. Während in der ursprünglichen Relativitätstheorie jedes Linienelement, indem nur dx_4 von Null abweicht, überall zeitartig, jedes Linienelement mit verschwindendem dx_4 raumartig ist, kann das gleiche für unsere angepaßten Koordinatensysteme nicht behauptet werden. Es ist also wohl denkbar, daß man, wenn man genügend große Teile der Welt ins Auge faßt, keine Koordinatenachse als »Zeitachse« bezeichnen kann, sondern

daß die Linienelemente einer Achse teils zeitartig, teils raumartig sind. Die Gleichwertigkeit der vier Dimensionen der Welt wäre dann nicht eine nur formale, sondern eine vollständige. Diese wichtige Frage muß einstweilen offengelassen werden.

Eine noch tiefer gehende Frage von fundamentaler Bedeutung, deren Beantwortung mir nicht möglich ist, soll nun aufgeworfen werden. In der gewöhnlichen Relativitätstheorie ist jede Linie, welche die Bewegung eines materiellen Punktes beschreiben kann, d. h. jede aus nur zeitartigen Elementen bestehende Linie, notwendig eine ungeschlossene; denn eine solche Linie besitzt niemals Elemente, für die dx_4 verschwindet. Das Entsprechende kann in der hier entwickelten Theorie nicht behauptet werden. Es ist daher a priori eine Punktbewegung denkbar, bei welcher die vierdimensionale Bahnkurve des Punktes eine fast geschlossene wäre. In diesem Falle könnte ein und derselbe materielle Punkt in einem beliebig kleinen raum-zeitlichen Gebiete in mehreren voneinander scheinbar unabhängigen Exemplaren vorhanden sein. Dies widerstrebt meinem physikalischen Gefühl aufs lebhafteste. Ich bin aber nicht imstande, den Nachweis zu führen, daß das Auftreten solcher Bahnkurven nach der entwickelten Theorie ausgeschlossen sei.

Da ich nach diesen Bekenntnissen nicht umhin kann, im Antlitz des Lesers ein mitleidiges Lächeln zu erblicken, kann ich folgende Bemerkung über die bisherige Auffassung der Grundlagen der Physik nicht unterdrücken. Vor Maxwell waren die Naturgesetze in räumlicher Beziehung im Prinzip Integralgesetze; damit soll ausgedrückt werden, daß in den Elementargesetzen die Abstände zwischen endlich voneinander entfernten Punkten auftraten. Dieser Naturbeschreibung liegt die euklidische Geometrie zugrunde. Letztere bedeutet zunächst nichts als den Inbegriff der Folgerungen aus den geometrischen Axiomen; sie hat insofern keinen physikalischen Inhalt. Die Geometrie wird aber dadurch zu einer physikalischen Wissenschaft, daß man die Bestimmung hinzufügt, zwei Punkte eines »starren« Körpers sollen einen bestimmten von der Lage des Körpers unabhängigen Abstand realisieren; die Sätze der durch diese Festsetzung ergänzten Geometrie sind (im physikalischen Sinne) entweder zutreffend oder unzutreffend. Die Geometrie in diesem erweiterten Sinne ist es, welche der Physik zugrunde liegt. Die Sätze der Geometrie sind von diesem Gesichtspunkte aus als physikalische Integralgesetze anzusehen, indem sie von den Abständen endlich entfernter Punkte handeln.

Durch und seit Maxwell hat die Physik eine durchgreifende Umwälzung erfahren, indem sich allmählich die Forderung durchsetzte, daß in den Elementargesetzen Abstände endlich entfernter Punkte nicht

mehr auftreten dürften; d. h. die »Fernwirkungs-Theorien« werden durch »Nahewirkungs-Theorien« ersetzt. Bei diesem Prozeß vergaß man, daß auch die euklidische Geometrie — wie sie in der Physik verwendet wird — aus physikalischen Sätzen besteht, die den Integralgesetzen der Newtonschen Punktmechanik vom physikalischen Gesichtspunkte aus durchaus an die Seite zu stellen sind. Dies bedeutet nach meiner Ansicht eine Inkonsequenz, von der wir uns befreien müssen.

Ein Versuch dieser Befreiung führt wieder dazu, statt der Koordinaten zunächst willkürliche Parameter zur Darstellung des vierdimensionalen raum-zeitlichen Kontinuums, daß uns umgibt, zu verwenden. Wir gelangen so wieder zu den nämlichen Betrachtungen, wie wir sie in den Abschnitten *B* und *C* dieser Abhandlung gegeben haben, mit dem einzigen Unterschied, daß ein Zusammenhang der $g_{\mu\nu}$ mit dem Gravitationsfelde nicht vorausgesetzt wird. An Stelle der in diesem Abschnitt angegebenen Gleichungen hätten wir aber, wenn wir an den Forderungen der euklidischen Geometrie (im angegebenen Sinne) festhalten wollen, solche zu setzen, die aus der Behauptung fließen: die Koordinaten x_ν sind so wählbar, daß die $g_{\mu\nu}$ von den x_ν unabhängig werden. Wir gelangen so zu der Forderung, daß die Komponenten des in § 9 entwickelten Riemann-Christoffelschen Tensors verschwinden sollen. Damit wären die Sätze der euklidischen Geometrie auf Differentialgesetze reduziert; aber man wird sich bei dieser Formulierung des Umstandes bewußt, daß vom Standpunkt der konsequenten Durchführung der Nahewirkungs-Theorie jene Möglichkeit durchaus nicht die einfachste und naheliegendste ist.

E. Einiges über den physikalischen Inhalt der entwickelten allgemeinen Gesetze.

Bei der Ableitung der Gesetze habe ich mich — soweit dies möglich war — nur von formalen Gesichtspunkten leiten lassen. Nun aber soll, damit die Darlegung des Gegenstandes nicht allzu lückenhaft bleibe, auch die physikalische Seite der erlangten Resultate kurz beleuchtet werden. Dabei beschränken wir uns aber, um nicht durch mathematische Komplikationen erdrückt zu werden, auf die Betrachtung von Näherungen.

§ 17. Aufstellung von Näherungsgleichungen nach verschiedenen Gesichtspunkten.

Aus der weitgehenden Brauchbarkeit der Gleichungen der ursprünglichen Relativitätstheorie geht hervor, daß in dem für unsere

Wahrnehmung in Betracht kommenden raum-zeitlichen Gebiete die $g^{\mu\nu}$ nahezu als Konstante behandelt werden dürfen. Wir setzen demnach

$$\left.\begin{aligned} g_{\mu\nu} &= g_{\mu\nu 0} + h_{\mu\nu} \\ g^{\mu\nu} &= g_0^{\mu\nu} + h^{\mu\nu} \end{aligned}\right\}, \tag{82}$$

wobei die $g_{\mu\nu 0}$ und die $g_0^{\mu\nu}$ die Werte

$$\left.\begin{matrix} -1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -1 \end{matrix}\right\} \tag{82a}$$

besitzen. Die $h_{\mu\nu}$ und $h^{\mu\nu}$ sind dabei als unendlich kleine Größen erster Ordnung zu behandeln, zwischen denen bei Vernachlässigung von Unendlichkleinem zweiter Ordnung die Beziehungen bestehen

$$h^{\mu\nu} = -h_{\mu\nu} \tag{83}$$

Hierbei ist wie bei MINKOWSKI die Zeitkoordinate rein imaginär gewählt; dadurch wird erzielt, daß $(g_{44})_0 = g_0^{44} = -1$ wird und daß die Gleichungssysteme linearen orthogonalen Transformationen gegenüber kovariant bleiben. Bei imaginärer Wahl der Zeitkoordinate werden g_{14}, g_{24}, g_{34} imaginär, ebenso $\sqrt{-g}$; die Gültigkeit der von uns entwickelten Gleichungen bleibt indes gewährleistet, weil man von einer reellen Zeitvariable zu einer imaginären durch eine lineare Transformation gelangt. Durch die Festsetzung (82a) ist erzielt, daß natürlich gemessene Längen und Koordinatenlängen in dem betrachteten Gebiete bis auf Unendlichkleines erster Ordnung übereinstimmen.

Wir ersetzen nun die Gleichungen (81) und (81a) durch solche, in denen unendlich kleine Größen zweiter und höherer Ordnung vernachlässigt ist. Dann verschwindet $\mathfrak{t}_\sigma$ und wir erhalten

$$\sum_\alpha \frac{\partial^2 h_{\sigma\tau}}{\partial x_\alpha^2} = i\varkappa \mathfrak{T}_\sigma^\tau \tag{84}$$

$$\Gamma_{\sigma\beta}^\tau = -\frac{1}{2}\frac{\partial h_{\sigma\tau}}{\partial x_\beta}. \tag{84a}$$

Eine weitere Näherungsannahme führen wir nun ein, indem wir in $\mathfrak{T}_\sigma^\tau$ nur diejenigen Terme berücksichtigen, welche der ponderabeln Materie entsprechen, wobei die von Flächenkräften herrührenden Terme unberücksichtigt bleiben. Unter diesen Voraussetzungen gibt (48) den Energietensor. Da die $\mathfrak{T}_\sigma^\tau$ gemäß (48) endlich sind, gelangt man bereits zu einer weitgehenden Näherung, wenn man in (48) bereits unendlich Kleines erster Ordnung vernachlässigt. Man erhält so

$$\mathfrak{T}_{\tau\nu} = -i\rho_0 \frac{dx_\tau}{ds_0}\frac{dx_\nu}{ds_0}. \tag{84b}$$

Durch Einsetzen in (84) erhält man, indem man die linke Seite $\square h_{\tau\nu}$ schreibt:

$$\square h_{\tau\nu} = \varkappa\rho_0 \frac{dx_\tau}{ds_0}\frac{dx_\nu}{ds_0}. \tag{85}$$

In dieser Gleichung bedeuten x_1, x_2, x_3 die räumlichen Koordinaten $x_4 = it$ die (imaginäre) Zeitkoordinate, $ds_0 = dt\sqrt{1-\left(\frac{dx_1^2}{dt}+\frac{dx_2^2}{dt}+\frac{dx_3^2}{dt}\right)}$ das Element von MINKOWSKIS »Eigenzeit«.

Nachdem wir so die Gleichungen (81) durch Näherungsgleichungen ersetzt haben, deren Ähnlichkeit mit der POISSONschen Gleichung der NEWTONschen Gravitationstheorie in die Augen springt, wollen wir auch die Gleichungen der Bewegung des materiellen Punktes (50b) nebst (51) durch Näherungsgleichungen ersetzen. Die roheste Näherung erhält man, indem man statt (51) setzt

$$\mathfrak{I}_\tau = -m\frac{dx_\tau}{ds_0}. \tag{86}$$

Bei Einführung des dreidimensionalen Geschwindigkeitsvektors $\mathfrak{q}$ mit dem Betrage q bedeutet dies die Gleichungen

$$\left.\begin{aligned} -\mathfrak{I}_1 &= \frac{m\mathfrak{q}_x}{\sqrt{1-q^2}} \\ -\mathfrak{I}_2 &= \frac{m\mathfrak{q}_y}{\sqrt{1-q^2}} \\ -\mathfrak{I}_3 &= \frac{m\mathfrak{q}_z}{\sqrt{1-q^2}} \\ -\mathfrak{I}_4 &= i\frac{m}{\sqrt{1-q^2}} \end{aligned}\right\} \tag{86a}$$

Die Wahl der imaginären Zeitkoordinate bringt es hier mit sich, daß nicht wie gemäß (52) die Größe $\mathfrak{I}_4$ die Energie ausdrückt, sondern die Größe $i\mathfrak{I}_4$. An Stelle von (50b) erhält man gemäß (84a) beim Fehlen äußerer Kräfte

$$\frac{d_a(-\mathfrak{I}_\tau)}{dt} = -\frac{1}{2}\sum_{\mu\nu}\frac{\partial h_{\mu\nu}}{\partial x_\tau}\frac{dx_\nu}{dt}(-\mathfrak{I}_\mu). \tag{87}$$

Die Gleichungen (85), (87), (86) ersetzen in erster Näherung die NEWTONsche Theorie.

NEWTONS Theorie als Näherung. Zu letzterer gelangen wir, indem wir die Geschwindigkeit $\mathfrak{q}$ als unendlich klein behandeln und in den Gleichungen jeweilen nur diejenigen Glieder beibehalten, welche die Komponenten von $\mathfrak{q}$ in der niedrigsten Potenz enthalten. An die Stelle von (85) treten dann die Gleichungen

$$\left.\begin{aligned} \Box h_{\sigma\nu} &= 0 \text{ (wenn nicht } \nu = \sigma = 4) \\ \Box h_{44} &= -\varkappa \rho_0 \end{aligned}\right\} \qquad (85\text{a})$$

und an die Stelle von (87)

$$\frac{d(m\mathfrak{q})}{dt} = \frac{m}{2} \operatorname{grad} h_{44}. \qquad (87\text{a})$$

Aus (85a) schließt man, daß in diesem Falle (bei passenden Grenzbedingungen fürs Unendliche) alle $h_{\sigma\nu}$ bis auf h_{44} verschwinden, aus (87a), daß $\left(-\frac{h_{44}}{2}\right)$ die Rolle des Gravitationspotentials spielt; nennt man diese Größe ϕ, so hat man die Gleichungen

$$\left.\begin{aligned} \Box \phi &= \frac{\varkappa}{2} \rho_0 \\ \frac{d(m\mathfrak{q})}{dt} &= -m \operatorname{grad} \phi \end{aligned}\right\} \qquad (88)$$

im Einklang mit NEWTONS Theorie in dem Falle, daß $\frac{\partial^2 \phi}{\partial t^2}$ neben $\frac{\partial^2 \phi}{\partial x^2}$ usw. vernachlässigt werden kann.

In der NEWTONschen Theorie lautet die erste der Gleichungen (88)

$$\frac{\partial^2 \phi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \phi}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \phi}{\partial z^2} = 4\pi K \rho_0,$$

so daß man hat

$$\frac{\varkappa}{2} = 4\pi K.$$

Die Konstante K hat bei Zugrundelegung der Sekunde als Zeiteinheit den Zahlenwert $6.7 \cdot 10^{-8}$, bei Zugrundelegung der Lichtsekunde als Zeiteinheit also den Wert $\frac{6.7 \cdot 10^{-8}}{9 \cdot 10^{20}}$. Man erhält demnach

$$\varkappa = 8\pi \cdot \frac{6.7 \cdot 10^{-8}}{9 \cdot 10^{20}} = 1.87 \cdot 10^{-27}. \qquad (89)$$

Für den natürlich gemessenen Abstand benachbarter Raumzeitpunkte ergibt sich für den Fall der NEWTONschen Näherung

$$ds^2 = \sum_{\mu\nu} g_{\mu\nu} dx_\mu dx_\nu = -dx^2 - dy^2 - dz^2 + (1 + 2\phi) dt^2.$$

Für einen rein räumlichen Abstand ergibt sich

$$-ds^2 = dx^2 + dy^2 + dz^2 .$$

Koordinatenlängen sind also hier zugleich natürlich gemessene Längen; es gilt die euklidische Abstandgeometrie mit der hier in Betracht gezogenen Genauigkeit. Für rein zeitliche Abstände galt

$$ds^2 = (1 + 2\phi)\, dt^2$$

oder

$$ds = (1 + \phi)\, dt .$$

Zu der natürlich gemessenen Dauer ds gehört die Zeitdauer $\frac{ds}{1+\phi}$. Die Ganggeschwindigkeit einer Uhr ist also durch $(1 + \phi)$ gemessen, wächst also mit dem Gravitationspotential. Hieraus schließt man, daß die Spektrallinien, welche auf der Sonne erzeugtem Lichte zugehören, gegenüber den entsprechenden, auf der Erde erzeugten Spektrallinien eine Verschiebung nach Rot hin aufweisen im Betrage

$$\frac{\Delta\lambda}{\lambda} = 2 \cdot 10^{-6} .$$

Für Lichtstrahlen ($ds = 0$) ist

$$\frac{\sqrt{dx^2 + dy^2 + dz^2}}{dt} = 1 + \phi .$$

Die Lichtgeschwindigkeit ist also unabhängig von der Richtung, aber mit dem Gravitationspotential veränderlich; hieraus folgt ein gekrümmter Verlauf der Lichtstrahlen im Gravitationsfelde.

Wir berechnen endlich Impuls und Energie des materiellen Punktes im Newtonschen Felde, wobei wir uns nicht auf die Gleichungen (86a) sondern auf die exakten Gleichungen (51) stützen. Setzt man in diese für die $g_{\sigma\nu}$ die Werte

$$\begin{matrix} -1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -1 + h_{44} \end{matrix}$$

und für dx_ν die Größen

$$dx \quad dy \quad dz \quad idt$$

ein, so erhält man, indem man sich in bezug auf h_{44} auf Größen erster Ordnung beschränkt, $\left(-\frac{h_{44}}{2}\right)$ wieder durch ϕ ersetzt und Glieder höherer als zweiter Ordnung in bezug auf Geschwindigkeiten vernachlässigt:

$$-\mathfrak{I}_1 = m(1-\phi)\,q_x$$

$$\cdot\;\cdot\;\cdot\;\cdot\;\cdot\;\cdot\;\cdot\;\cdot\;\cdot\;\cdot\;\cdot\;\cdot$$

$$i\mathfrak{I}_4 = m\left[(1+\phi)+\frac{1}{2}(1-\phi)\,q^2\right].$$

Da $(-\mathfrak{I}_1)$ die X-Komponente des Impulses und $(i\mathfrak{I}_4)$ die Energie des materiellen Punktes ist, so folgt hieraus, daß die träge Masse mit abnehmendem Gravitationspotential zunimmt. Es ist dies durchaus im Geiste der hier vertretenen Auffassung. Denn da es nach unserer Theorie selbständige physikalische Qualitäten des Raumes nicht gibt, so ist die Trägheit einer Masse die Folge einer Wechselwirkung zwischen ihr und den übrigen Massen; diese Wechselwirkung wird dadurch zunehmen müssen, daß man der betrachteten Masse andere Massen nähert, d. h. ϕ verkleinert.

Ausgegeben am 26. November.

Berlin, gedruckt in der Reichsdruckerei.

1914.
XLII.

SITZUNGSBERICHTE
DER
KÖNIGLICH PREUSSISCHEN
AKADEMIE DER WISSENSCHAFTEN.

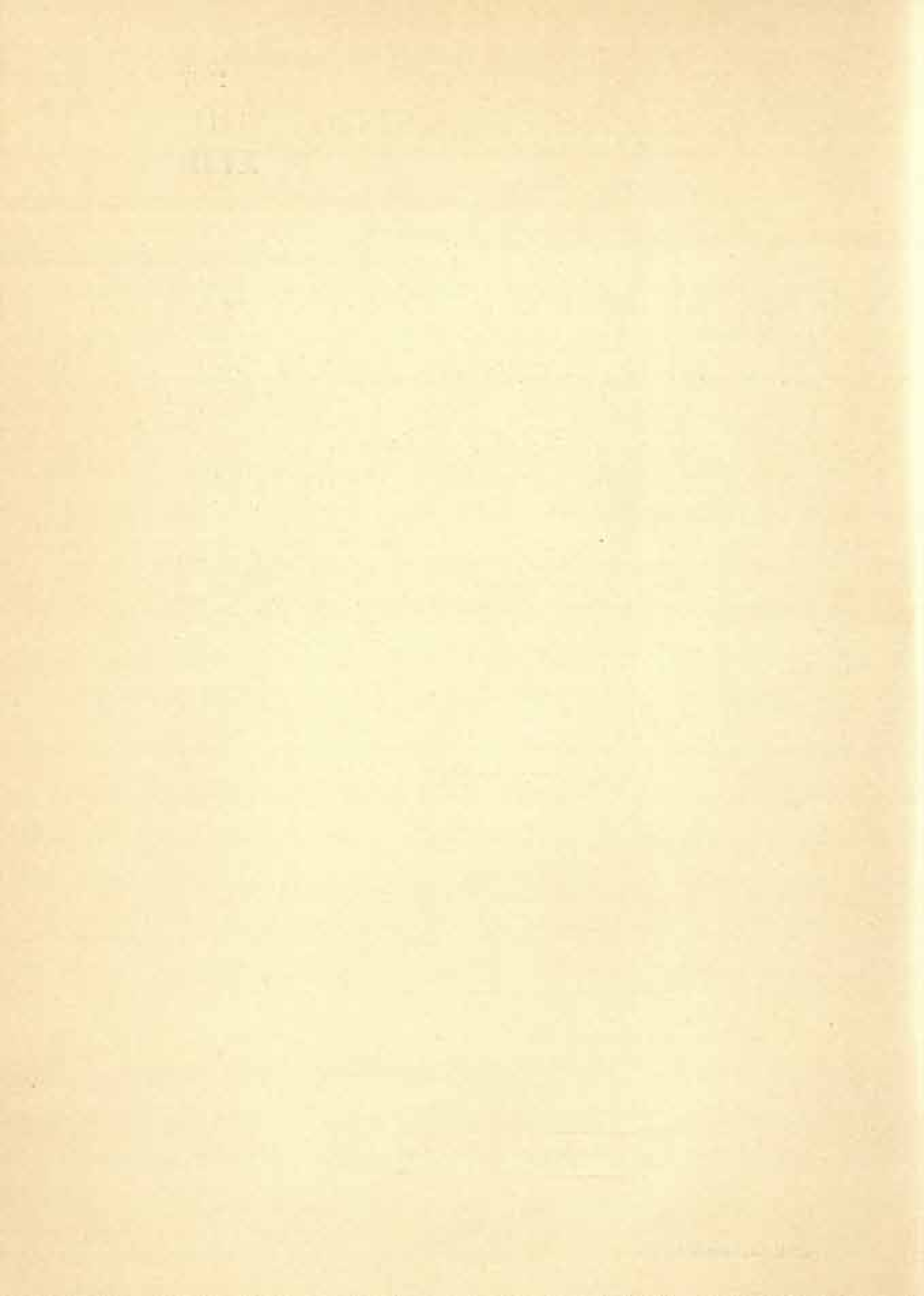
26. November. Sitzung der physikalisch-mathematischen Classe.

Vorsitzender Secretar: Hr. Planck.

Hr. Branca sprach über »Bisherige Ergebnisse der Reckschen Ausgrabungen im Oldoway, Deutsch-Ostafrika«. (Ersch. später.)

Das Alter der vulkanischen Tuffe im Oldoway bietet bisher noch Rätsel dar. Gewisse in München befindliche Formen sprechen für Pliozän, könnten jedoch von anderer Fundstelle herrühren. *Elephas antiquus Recki* Dietr. spricht für diluviales Alter. Andere Formen werden, wenn ihre Untersuchung beendet sein wird, vielleicht auf ein noch jüngeres Alter hinweisen; doch ist das noch unsicher. Der Mensch endlich dürfte begraben sein.

Ausgegeben am 17. December.



1914.

XLIII.

SITZUNGSBERICHTE

DER

KÖNIGLICH PREUSSISCHEN

AKADEMIE DER WISSENSCHAFTEN.

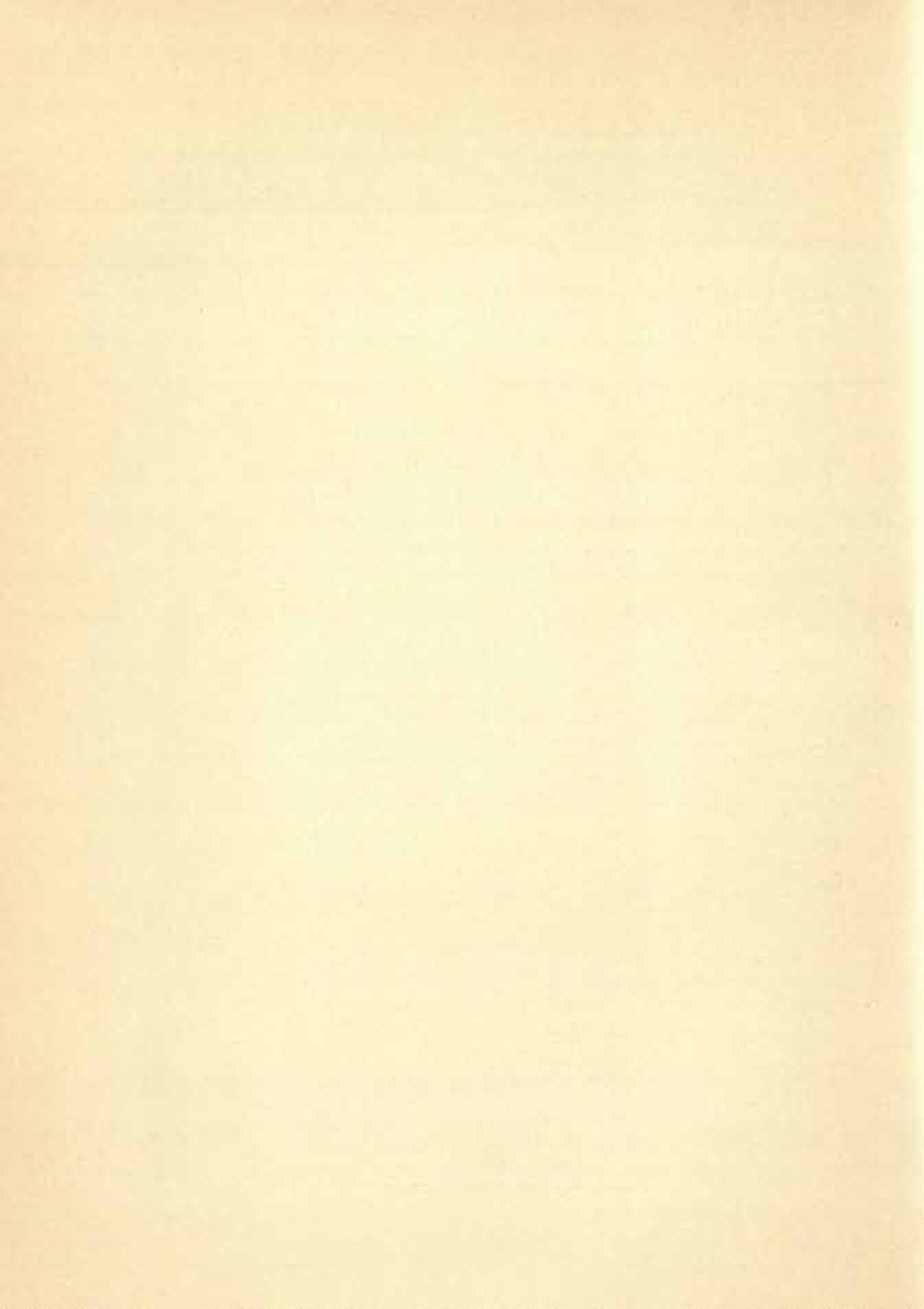
26. November. Sitzung der philosophisch-historischen Classe.

Vorsitzender Secretar: Hr. Diels.

*Hr. Brandl las über den Deutschen in der englischen Literatur.

Die angelsächsischen Dichter bewahrten alle Ideale ihrer deutschen Heimat; König Alfred zeigte noch warme Hochschätzung für die Goten. Nach dem Normannensieg aber kam die feindliche Darstellung der Briten von Hengist und Horsa empor und vergiftete die Stimmung gegenüber allem Deutschen für den Rest des Mittelalters. Dann verschafften Luther und die Schweizer Reformatoren, die Faustsage und das erwachende Studium des germanischen Altertums dem deutschen Namen wieder Achtung. Aber die politische Zerrissenheit Deutschlands nach dem Dreißigjährigen Krieg rief neue Geringschätzung der Engländer hervor, so daß sie auch von unsern Klassikern zunächst nur Phantastisches aufnahmen. Erst Byrons Stanzen auf den Rhein 1816 begannen eine Periode der Wertschätzung für deutsche Kulturarbeit, wobei sich Carlyle, Kingsley und Browning auszeichneten. Erneute Abkehr setzte unter imperialistischem Einfluß ein und ließ bereits seit geraumer Zeit ahnen, was gegen uns geplant wurde.

Ausgegeben am 17. December.



1914.
XLIV.

SITZUNGSBERICHTE
DER
KÖNIGLICH PREUSSISCHEN
AKADEMIE DER WISSENSCHAFTEN.

3. December. Gesammtsitzung.

Vorsitzender Secretar: Hr. Planck.

*1. Hr. Struve sprach über den Neubau der Königlichen Sternwarte in Berlin-Babelsberg und legte das erste Heft der Veröffentlichungen der neuen Sternwarte vor.

Es wurden die Gesichtspunkte dargelegt, die bei der Anlage und Ausrüstung der neuen Sternwarte maßgebend waren, eine Beschreibung der Einrichtungen und der Hauptinstrumente gegeben und auf die Aufgaben, denen sie dienen sollen, hingewiesen.

2. Der Vorsitzende legt eine Abhandlung von Hrn. Prof. Dr. M. v. Laue (Frankfurt a. M.) vor: »Die Beugungserscheinungen an vielen unregelmäßig verteilten Teilchen.« (Ersch. später.)

Im Gegensatz zu der weitverbreiteten Ansicht, daß das von vielen gleichartigen unregelmäßig verteilten Teilchen herrührende Beugungsbild dem eines einzelnen Teilchens entspricht, nur mit entsprechend verstärkter Lichtintensität, wird durch Theorie und Versuch gezeigt, daß sich dem einfachen Bilde starke unregelmäßige Intensitätsschwankungen überlagern, welche der Beugungsfigur eine deutlich erkennbare strahlenartige Faserung verleihen.

3. Vorgelegt wurden die neu erschienenen Hefte 62 und 63 des akademischen Unternehmens »Das Pflanzenreich«, enthaltend die Myzodendraceae von C. Skottsberg und die Euphorbiaceae-Acalypheae-Mercurialinae von F. Pax (Leipzig und Berlin 1914) und das mit Unterstützung der Akademie bearbeitete Werk A. Ungnad, Babylonische Briefe aus der Zeit der Ḫammurapi-Dynastie (Leipzig 1914).

Die Akademie hat in der Sitzung vom 19. November den ordentlichen Professor der Physik an der Universität Strassburg Dr. Ferdinand Braun

zum correspondirenden Mitglied ihrer physikalisch-mathematischen Classe gewählt.

Das auswärtige Mitglied der physikalisch-mathematischen Classe Wilhelm Hittorf in Münster i. W. ist am 28. November und das correspondirende Mitglied derselben Classe Nils Christoffer Dunér in Uppsala am 10. November verstorben.

Ausgegeben am 17. December.

1914.
XLV.

SITZUNGSBERICHTE

DER

KÖNIGLICH PREUSSISCHEN

AKADEMIE DER WISSENSCHAFTEN.

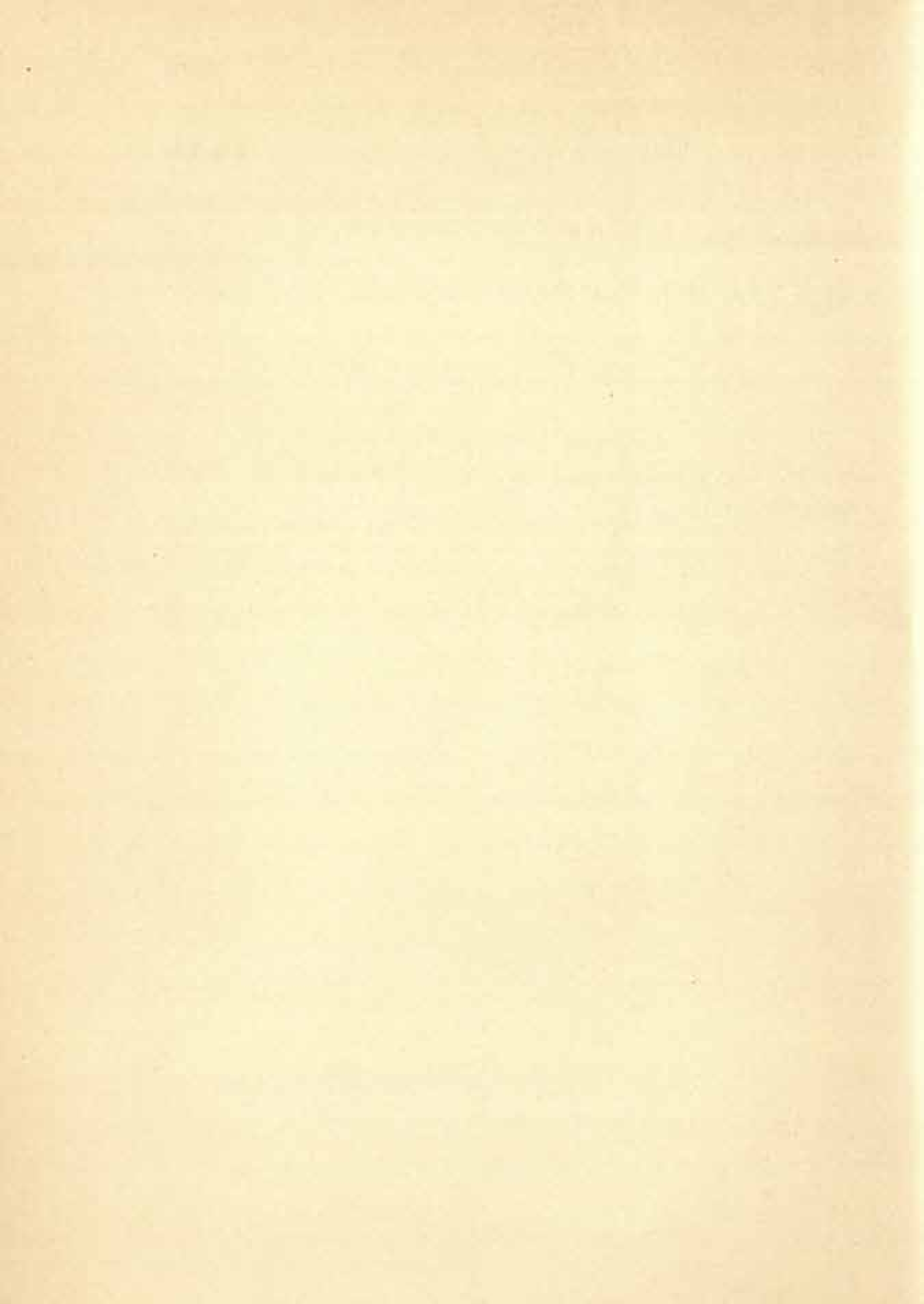
10. December. Sitzung der philosophisch-historischen Classe.

Vorsitzender Secretar: Hr. Diels.

Hr. F. W. K. Müller legte eine Abhandlung vor, betitelt: Zwei Pfahlinschriften aus den Turfanfunden. (Abh.)

Es werden darin die Texte einer uigurischen und einer chinesischen Weihinschrift nebst Übersetzung gegeben.

Ausgegeben am 17. December.



1914.

XLVI.

SITZUNGSBERICHTE

DER

KÖNIGLICH PREUSSISCHEN

AKADEMIE DER WISSENSCHAFTEN.

---

10. December. Sitzung der physikalisch-mathematischen Classe.

Vorsitzender Secretar: Hr. Planck.

Hr. Haberlandt las: Zur Physiologie der Zellteilung. Zweite Mitteilung.

Es wird gezeigt, daß so wie bei der Kartoffelknolle auch bei den Stengeln von *Sedum spectabile* und *Althaea rosea*, ferner bei der Kohlrabiknolle nur solche Gewebestückchen, auf feuchtem Fließpapier kultiviert, Zellteilungen aufweisen, die ein Gefäßbündelfragment enthalten. Das gleiche gilt von kleinen Laubblattlamellen von *Bryophyllum calycinum* und verschiedenen *Peperomia*-Arten. Es wird ferner der experimentelle Nachweis erbracht, daß dieser Einfluß der Gefäßbündel auf der Bildung und Ausscheidung eines Reizstoffes beruht, der in Kombination mit dem Wundreiz die den Schnittflächen benachbarten Zellen zu Teilungen veranlaßt.

Zur Physiologie der Zellteilung.

Von G. Haberlandt.

Zweite Mitteilung.

I.

Die Kulturversuche mit kleinen Gewebestückchen der Kartoffelknolle, die ich im vorigen Jahre in diesen Sitzungsberichten[1] besprochen habe, führten zu dem Ergebnis, daß in kleinen dünnen Plättchen aus dem Mark der Knolle Zellteilungen fast ausnahmslos nur dann auftreten, wenn sie ein Leitbündelfragment enthalten; es genügt, wenn dieses aus Leptom, d. h. aus Siebröhren mit ihren Geleitzellen, besteht. In der Knollenrinde ist die Anwesenheit von Bündelfragmenten in den Gewebestückchen zwar nicht in dem Maße notwendig, wie im Mark, doch kommt auch hier der begünstigende Einfluß des Leptoms sehr deutlich zur Geltung. Ich habe dann den Nachweis zu erbringen versucht, daß die Leptombündel einen Reizstoff aussondern, der in Kombination mit dem Wundreiz die Zellen des Speichergewebes zur Teilung veranlaßt. Es ist sehr wahrscheinlich, daß dieser Reizstoff in den Geleitzellen der Siebröhren gebildet wird.

Meine nächste Aufgabe war nun, festzustellen, ob der für die Kartoffelknolle nachgewiesene Einfluß des Leptoms auf den Zellteilungsvorgang auch für andere phanerogame Pflanzen gilt. Im nachstehenden soll über einige Versuche, die ich in dieser Richtung angestellt habe, berichtet werden.

II.

Als ein sehr geeignetes Objekt erwies sich für meine Zwecke der Stengel von *Sedum spectabile* Boreau, dieser bekannten, in China einheimischen Zierpflanze. Der Bau des mit der Infloreszenz abschließenden Stengels weist keine Besonderheiten auf. Die primäre Rinde ist mächtig entwickelt, 12—14 Zellagen dick und eignet sich infolgedessen sehr gut zur Herstellung kubischer, parallelepipedischer oder

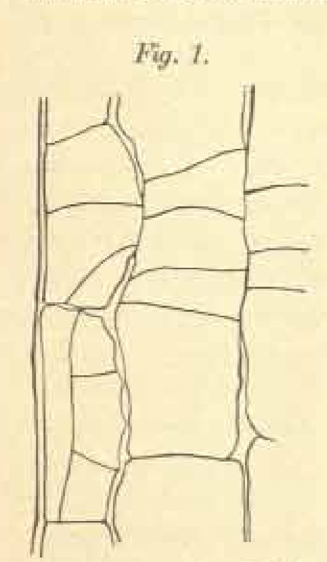
[1] G. Haberlandt, Zur Physiologie der Zellteilung. Sitzungsber. d. Berl. Akad. d. Wiss. 1913, XVI.

segmentförmiger Gewebestückchen. Ihre innersten Lagen sind ziemlich stärkereich. Die primären wie auch die sekundären Leptombündel zeichnen sich durch besondere Englumigkeit ihrer Elemente aus[1]. Die ihnen vorgelagerten mechanischen Zellen sind nur schwach kollenchymatisch verdickt und jedenfalls nur wenig leistungsfähig. Das sekundäre Holz ist ziemlich dickwandig und englumig. Die primären Hadromteile, die Markkrone bildend, weisen zwischen den Spiralgefäßen sehr zartwandiges und relativ plasmareiches Holzparenchym auf. Das Mark endlich ist so wie die innere Rinde mehr oder minder stärkereich.

Zunächst wurden verschieden hohe Internodienstücke und Querscheiben in PETRI-Schalen auf nassem Filterpapier kultiviert. Die Stücke lagen natürlich mit einer Schnittfläche dem Substrate auf. Die Versuche wurden im Juli bei einer Temperatur von 21—24° C ausgeführt.

Stengelstücke von 10—15 mm Höhe weisen nach einer Woche auf ihrer oberen Schnittfläche häufig, aber nicht immer, blasige Kalluswucherungen auf, und zwar entweder auf der ganzen Schnittfläche oder nur auf einzelnen Teilen derselben. Am regelmäßigsten bildete sich über dem Kambiumringe und über der innersten Rinde mit den Leptombündeln Kallus aus. Dem blasigen Auswachsen der an die Wundfläche grenzenden intakten Zellen folgten immer mehr oder minder reichliche Teilungen, die auf Wundkorkbildung abzielten. Unter den kallusfreien, gebräunten Partien der Wundfläche kam es stets zu reichlichen Zellteilungen in Mark und Rinde. Auch in der Epidermis stellten sich Teilungen ein, wobei die neuen Zellwände zum Teil einen schrägen oder auch tangentialen Verlauf zeigten (Fig. 1). Die durch den Schnitt entstandene scharfe Kante des Stengelstückes suchte sich gewissermaßen abzurunden. Bemerkenswert war, wie die Phellogen- bzw. Wundkorkbildung in den Hadromteilen der Gefäßbündel erfolgte. In der Nähe der Schnittfläche wuchsen in die Gefäße Thyllen hinein, die sich dann, so wie die Kalluswucherungen, tangential teilten. — Auf der unteren, dem nassen Filterpapier anliegenden Schnittfläche dieser Stengelstücke kam es nie zur Kallus-

Fig. 1.



Zellteilungen in der Epidermis und den darunter befindlichen Rindenparenchymzellen unter der oberen Schnittfläche eines 10 mm hohen Stengelstückes von *Sedum spectabile*.

[1] Vgl. DE BARY, Vergleichende Anatomie der Vegetationsorgane, Leipzig 1877, S. 337.

bildung, wohl aber zur Bildung von Wundkork in der 2. oder 3. Zelllage unter Wundfläche.

Querscheiben des Stengels von 0.7—5 mm Höhe zeigten je nach ihrer Höhe ein sehr verschiedenes Verhalten. Scheiben, die 5 mm hoch waren, entwickelten auf der oberen Schnittfläche einen blasigen Kallus mit nicht sehr zahlreichen, bisweilen nur wenigen Zellteilungen; kallusfreie, gebräunte Partien der Schnittfläche wiesen Wundkorkbildung auf, die sich auch auf der ganzen unteren Schnittfläche einstellte. — Ähnlich verhielten sich auch Querscheiben, die nur 2 mm hoch waren. Die obere Schnittfläche war nach einer Woche bisweilen in ihrer ganzen Ausdehnung mit blasigem Kallus bedeckt, in dem aber die Zellteilungen nicht mehr zahlreich auftraten. Es teilten sich lange nicht alle Kallusblasen; jede Blase, die sich geteilt hatte, wies nur eine, höchstens zwei Teilwände auf. Unter der gebräunten unteren Schnittfläche teilten sich die intakten Parenchymzellen in Mark und Rinde 1—2 mal. Während in den 5 mm hohen Querscheiben die Chlorophyllkörner unter den sich teilenden Zellagen noch mehr oder minder stärkehaltig waren, hatte die Stärkemenge in den nur 2 mm hohen Scheiben in weit höherem Maße abgenommen. — Querscheiben von 1.5 und 1 mm Höhe wiesen nach 8 Tagen nur noch über der Kambialregion einen gutentwickelten blasigen Kallus auf, in dem sich Zellteilungen gar nicht oder nur noch ausnahmsweise einstellten. Hin und wieder wuchsen auch Epidermiszellen blasig aus, ohne sich aber zu teilen. Weder im Mark, das zu einer bikonvexen Linse geworden war, noch im Rindenparenchym kam es unter den beiderseitigen Schnittflächen zu Zellteilungen. Die in Mark und Rinde ziemlich reichlich vorhanden gewesene Stärke war ganz verschwunden. — Schließlich wurden auch noch einige Querscheiben von nur 0.85 mm und 0.7 mm Höhe kultiviert. In letzteren bestand das Mark nur noch aus 2—3 intakten Zellagen. In so dünnen Scheiben kam es weder zur Kallusbildung noch zu Zellteilungen; die Scheiben starben ziemlich bald ab.

Das Ergebniß dieser Versuche mit verschieden hohen Stengelstücken und Querscheiben besteht also darin, daß Kallusbildung und Zellteilungen um so spärlicher auftreten, je niedriger die Scheiben sind. Bei 1 mm Höhe kommt es nur noch über der Kambialregion und stellenweise über der Epidermis zur Kallusbildung und nur über ersterer auch zu einigen Zellteilungen. In noch niedrigeren Scheiben unterbleibt beides.

Es liegt natürlich nahe, dieses verschiedene Verhalten der ungleich hohen Querscheiben auf ihren verschiedenen Gehalt an »plastischen Baustoffen« zurückzuführen. Gewiß wird dieses Moment auch

eine Rolle spielen; entscheidend kann sie aber nicht sein, wie aus den nunmehr zu besprechenden Versuchen mit isolierten Mark- und Rindenstückchen hervorgeht.

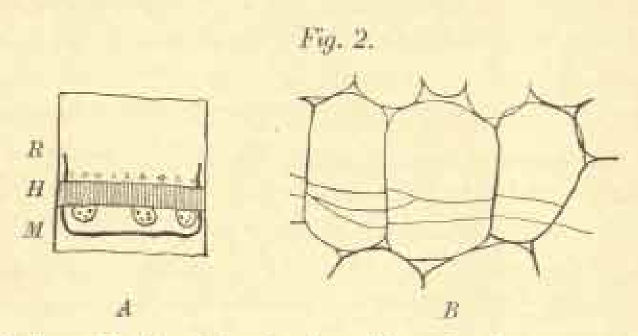
Ich habe solche Kulturversuche im Juli 1913 und im Juni 1914 ausgeführt. Die Versuchsanstellung war dieselbe wie bei der Kultur kleiner Gewebestückchen der Kartoffelknolle. Die Mark- und Rindenteilchen wurden wieder auf feuchtes, gut ausgekochtes Filterpapier gebracht, das den Boden einer flachen PETRI-Schale bedeckte. Die Untersuchung wurde meist nach 7 Tagen vorgenommen. Im übrigen verweise ich auf die Angaben in meiner ersten Abhandlung a. a. O. S. 323. Die Herstellung der Gewebestückchen erfolgte in der Weise, daß man Querscheiben aus der Mitte des Stengels von 2, 3 und 4 mm Höhe mit dem Skalpell auf einer Glasplatte in einzelne Stückchen von der gewünschten Form und Größe zerlegte. Sollten dieselben nur aus der Epidermis und der primären Rinde ohne Gefäßbündelelemente bestehen, so wurden durch Tangentialschnitte entsprechend große Rindensegmente abgetrennt. Eine zweite Kategorie von Gewebestückchen bestand aus Würfeln oder Parallelepipeden, die auf einer Seite primäre Rinde, auf der anderen Seite Mark und in der Mitte einen Kambiumstreifen mit seinen Produkten sowie die Leptom- und Hadromteile der primären Gefäßbündel enthielten. Eine dritte Gruppe endlich bestand nur aus ebenso geformten Markstückchen, die zuweilen am Rande primäre Hadromstränge aufwiesen.

Die Rindenstückchen ohne Leptom waren nach 7 Tagen ausnahmslos noch am Leben. Die Chlorophyllkörner, die zu Beginn der Versuche in der Regel Stärkekörner enthielten, besonders reichlich in den innersten Rindenzellagen, waren meist ganz entstärkt. In der Mehrzahl der Fälle stellten sich unter den Schnittflächen keine Zellteilungen ein. Ausnahmsweise ließen sich aber solche beobachten, namentlich dann, wenn die Rindensegmente etwas größer waren. So hatten sich z. B. in einem Segmente von 5 mm Höhe, 2.2 mm Breite und 0.58 mm größter Dicke die an die Längsschnittfläche unmittelbar angrenzenden Zellen häufig einmal geteilt. Zur Bildung einer zusammenhängenden Phellogenschicht war es aber nicht gekommen. In derselben Kultur zeigten Rindensegmente von bloß 2—3 mm Höhe, 2—3 mm Breite und 0.4—1 mm Dicke nirgends Teilungen. In anderen Kulturen war die Zahl der Rindenstückchen mit Zellteilungen größer, doch traten diese niemals reichlich auf.

Gewebestückchen (Würfel und Parallelepipede von 1—3 mm Seitenlänge) mit allen Gewebearten des Stengels, ausgenommen die Epidermis, ließen sowohl im Mark wie in der Rinde ausnahmslos meist zahlreiche Zellteilungen erkennen. So stellten

sich z. B. in einem Würfelchen von 3 mm Kantenlänge, dessen Rinde fast 2 mm, dessen Mark fast 1 mm dick war, in diesem letzteren in der dritten Zellage unter der tangentialen Schnittfläche zahlreiche Teilungen ein; jede Zelle teilte sich 1—3 mal, so daß eine zusammenhängende Phellogen- bzw. Wundkorkschicht zustande kam (Fig. 2, A und B).

Fig. 2.



A Schematische Darstellung des Querschnittes durch ein würfelförmiges Stengelstück von *Sedum spectabile* (Vergr. 8): *R* Rinde, *H* Holzkörper mit der Markkrone (primäre Hadromteile der Gefäßbündel), *M* Mark. Die stark ausgezogenen Linien geben die Zellagen an, in denen Teilungen auftreten. — *B* drei Markzellen, die sich mehrmals geteilt haben.

In der Rinde traten nur in der Nachbarschaft der Leptombündel, also in der innersten Rindenpartie unter den beiderseitigen radialen Schnittflächen einige wenige Zellteilungen auf. Dieses ungleiche Verhalten von Mark und Rinde ließ sich wiederholt beobachten. Es ist um so überraschender, als isolierte Rindenstückchen eher zu Zellteilungen neigen als isolierte Markstückchen, in denen, wie wir später hören werden, nur höchst selten Teilungen zu beobachten sind. Wenn dagegen der Rindenanteil des parallelepipedischen Stückchens nicht dicker war als der des Markes, so stellten sich auch in der Rinde zahlreiche Teilungen ein. Ein solches Gewebestückchen von 3 mm Höhe, 3 mm Breite und 1.5 mm Dicke, dessen Mark 5—7 und dessen Rinde 4—5 Zellagen dick war, wies auf der Rindenseite sowohl wie auf der Markseite unter den tangentialen Schnittflächen in der zweiten oder dritten Zellage so zahlreiche Teilungen auf, daß kontinuierliche Phellogen- bzw. Wundkorkschichten gebildet wurden.

In würfelförmigen oder parallelepipedischen Markstückchen von 2—3 mm Seitenlänge traten Zellteilungen fast nie auf. Die Zellen waren nach 7 Tagen noch alle am Leben, die Chlorophyllkörner meist völlig entstärkt. Spärliche Teilungen in den unter der Schnittfläche gelegenen Zellen habe ich nur in zwei Fällen beobachtet. Der eine Würfel entstammte einer am 19. Juni angelegten Kultur und wurde aus einer 3 mm hohen Querscheibe herausgeschnitten, die 2 cm von der Stengelbasis entfernt war. Es traten nur ganz vereinzelte Teilungen

in der 1. oder 2. intakten Zellage auf. Der zweite Würfel, der gleichfalls nur sehr spärliche Teilungen zeigte, wurde aus demselben Stengel 10 cm von der Basis entfernt herausgeschnitten. In allen anderen Fällen — es wurden etwa 30 Würfel aus verschiedenen Stengeln untersucht — ließen sich niemals Zellteilungen beobachten, und zwar auch dann nicht, wenn die Würfel an einer Kante mit dem Hadromteile eines primären Gefäßbündels versehen waren.

Das Ergebnis der besprochenen Kulturversuche mit Gewebestückchen aus dem Stengel von *Sedum spectabile* ist also kurz folgendes:

1. Gewebestückchen aus dem primären Rindenparenchym zeigen in der Mehrzahl der Fälle keine Zellteilungen. 2. Noch seltener treten Zellteilungen in Markstückchen auf. 3. Gewebestückchen, die auch die Gefäßbündelelemente enthalten, lassen ausnahmslos Zellteilungen erkennen, die namentlich im Mark sehr zahlreich sind.

Es ist das im wesentlichen dasselbe Ergebnis, das ich auch bei der Kultur kleiner Gewebestückchen der Kartoffelknolle erzielt habe (a. a. O. S. 331).

Auch bei *Sedum spectabile* ist demnach in kleinen Gewebestückchen für den Eintritt von Zellteilungen das Vorhandensein von Gefäßbündelfragmenten unentbehrlich oder wenigstens in hohem Maße förderlich. Daß es sich hier wieder um einen Einfluß des Leptoms handelt, geht ganz klar aus der schon oben erwähnten Tatsache hervor, daß Markwürfel mit Hadromresten keine Zellteilungen erfahren[1].

Schon in meiner ersten Mitteilung (a. a. O. S. 336) habe ich die Gründe dargelegt, die dafür sprechen, daß der Einfluß des Leptoms auf die Zellteilungen als eine Reizwirkung und nicht als ein Ernährungseinfluß aufzufassen sei. Dies geht für *Sedum spectabile* auch aus folgender Berechnung und Überlegung hervor. Ein Querschnitt aus der Mitte des Stengels besitzt einen Durchmesser von 8 mm, seine primäre Rinde ist 1.3 mm dick. Die Anzahl seiner Leptombündelchen beträgt durchschnittlich 180; die Querschnittsgröße eines Bündelchens berechnet sich auf rund 0.0015 qmm. Daraus ergibt sich für alle 180 Leptombündelchen ein Gesamtquerschnitt von 0.27 qmm, während der Flächeninhalt des Rindenquerschnittes 27.45 qmm beträgt. In einer 1 mm

[1] Die Möglichkeit, daß die Anregung zu Zellteilungen in Kombination mit dem Wundreiz ausschließlich oder teilweise vom Kambium ausgeht, ist nach der Art der Versuchsanstellung nicht völlig auszuschließen, doch halte ich sie mit Rücksicht auf die Beobachtungen an Gewebestückchen aus der Kartoffelknolle für wenig wahrscheinlich. Hier kommt ja lediglich das Leptom in Betracht. Das Phellogen, also gleichfalls ein Bildungsgewebe wie das Kambium, ist für den Eintritt der Zellteilungen belanglos (a. a. O. S. 331).

hohen Querscheibe des Stengels ist also das Volum des Leptoms 0.27 cbmm, das Volum der Rinde 27.45 cbmm groß. Das Volum des Leptoms beträgt also nur ein Hundertstel des Volums der Rinde. Daraus geht hervor, daß die Menge der Eiweißsubstanzen, die im Leptom enthalten sind, im Verhältnis zu jener der Rinde nur gering sein kann. Bedenkt man ferner, daß in den Gewebestückchen mit reichlichen Zellteilungen die Menge der im Leptom enthaltenen Inhaltsstoffe, soweit die mikroskopische Kontrolle beurteilen läßt, nicht merklich abgenommen hat, so geht daraus deutlich hervor, daß der vom Leptom ausgehende Ernährungseinfluß nur sehr geringfügig und jedenfalls nicht ausschlaggebend sein kann. Ich nehme daher auch für *Sedum spectabile* an, daß das Leptom einen »Zellteilungsstoff« bildet und ausscheidet.

Wenn in Querscheiben durch den Stengel, die niedriger als 1 mm sind, alle Zellteilungen ausbleiben, obwohl Leptom vorhanden ist, so ist dies wohl so zu erklären, daß in so niedrigen Scheiben das rasch absterbende und sich bräunende Leptom den fraglichen Reizstoff zu rasch aus der unteren Schnittfläche, die mit dem nassen Filterpapier in Berührung steht, austreten läßt.

Auch auf die Beobachtung ist nochmals zurückzukommen, daß in Gewebestückchen, die auch Gefäßbündel enthielten, Zellteilungen unter der tangentialen Schnittfläche der primären Rinde nur dann auftraten, wenn der Rindenanteil des Gewebestückchens bloß 4—6 Zellagen dick war. Betrug die Dicke der Rinde 12—14 Zellagen, d. h. wurde nur die Epidermis und die subepidermale Rindenzellage entfernt, so stellten sich unter der tangentialen Schnittfläche keine Zellteilungen ein. Dieses verschiedene Verhalten beruht wohl darauf, daß in so kleinen Gewebestückchen der Einfluß des Leptoms bzw. die Wanderung des von ihm ausgeschiedenen Reizstoffes nur wenige Zellagen weit reichte. Damit stimmt überein, daß an den radialen Schnittflächen die Rinde nur im innersten Teil, in der Nähe der Leptombündel, Zellteilungen aufwies.

III.

Am 19. Juni 1913 wurden Gewebestückchen aus der Mitte eines 70 cm langen Laub- und Blütensprosses von *Althaea rosea* in üblicher Weise ausgesät. Die Blüten befanden sich noch im Knospenzustande. Der Stengel besaß unter der Epidermis Kollenchymgewebe; auf das Rindenparenchym folgten mächtige Bastbündel mit daran grenzenden Leptomsträngen; dann folgte der sekundäre Holzring mit der Markkrone. Der Durchmesser des Markes betrug 12 mm. In seiner Mitte befand sich ein 1.5 mm weiter Luftkanal, an den eine 0.5 mm breite Markschicht aus toten, luftführenden Zellen grenzte. Der übrige, lebende

Teil des Markes war größtenteils recht stärkereich, bloß die innersten, an die abgestorbene Zone grenzenden Zellagen enthielten nur winzige, blasse Chlorophyllkörner.

Die mit dieser Pflanze angestellten Versuche hatten vor allem den Zweck, festzustellen, wie sich stärkereiche Markstücke im Zusammenhang mit dem Gefäßbündelsystem und in isoliertem Zustande verhalten.

Parallelepipedische Gewebestückchen von 3 mm Höhe, 1.5 mm Breite und 3 mm Dicke, die alle Gewebesysteme des Stengels enthielten, wiesen in der Regel an den radialen Schnittflächen im innersten Teil der Rinde und im äußersten Teil des Markes Zellteilungen auf, die manchmal ziemlich zahlreich, oft aber auch nur spärlich waren. Keine Zelle hatte sich mehr als einmal geteilt. Der Markanteil der Gewebestückchen war nach einer Woche, als die Zellteilungen schon eingetreten waren, zwar stärkearm, aber noch nicht völlig stärkefrei geworden. Das Auftreten von neuen Zellwänden ist also ebensowenig wie bei der Kartoffel (a. a. O. S. 331) an die vorherige Auflösung der Stärke geknüpft.

Auf der oberen Querschnittfläche traten bei diesen Gewebestückchen in der Kambialregion gewöhnlich blasige Kalluswucherungen auf, die Zellteilungen erkennen ließen. In manchen Fällen beschränkten sich die Zellteilungen auf diese Region und blieben in Mark und Rinde gänzlich aus.

Markwürfelchen von 3 mm Kantenlänge ohne Gefäßbündelelemente ließen niemals auch nur eine einzige Zellteilung erkennen. Die Zellen waren nach einer Woche noch am Leben, die Stärke war vollkommen aufgelöst, die Kerne befanden sich häufig in der Mitte der Zellen, aufgehängt an zahlreichen Plasmafäden, wie das auch an Kartoffelstückchen beobachtet werden kann, wenn nach Auflösung der Stärke die Zellteilungen ausbleiben.

Es ist nicht überflüssig, zu bemerken, daß sich auf einer Seite der Markwürfelchen stets auch jene der Markkrone benachbarten Zellagen befanden, in denen gewöhnlich Teilungen auftraten, wenn sie mit den Gefäßbündeln zusammenhingen. Losgelöst von ihnen vermochten sie sich aber nicht zu teilen.

Der Einfluß der Gefäßbündel auf die Zellteilungen geht also auch aus diesen Experimenten klar hervor.

IV.

Eine Reihe von Versuchen habe ich im November und Dezember 1913 mit Gewebestückchen der Kohlrabiknolle (*Brassica oleracea gon-*

gylodes) ausgeführt. Diese Pflanze wurde deshalb in den Bereich der Untersuchung gezogen, weil schon Vöchting auf Grund sehr ausgedehnter Versuche festgestellt hat, »daß den Geweben des Kohlrabi eine große Fähigkeit zur Regeneration zukommt, daß vor allem das Mark des Kohlrabi ein wahrhaft proteisches Gebilde ist«[1].

Die Kohlrabipflanze ist bekanntlich zweijährig. In der ersten Vegetationsperiode wächst der Keimling zur knollentragenden Pflanze heran, in der zweiten schreitet sie zur Blütenbildung. Der anatomische Bau der Knolle ist von Vöchting sehr eingehend beschrieben worden; ich kann seine Angaben in allen wesentlichen Punkten bestätigen. Die von mir benutzte Kohlrabisorte war folgendermaßen gebaut: Unter der 1.6—1.8 mm dicken primären Rinde, deren peripherer Teil schwach kollenchymatisch entwickelt ist, befindet sich der aus sehr zahlreichen Strängen bestehende primäre Gefäßbündelkreis. Die einzelnen Bündel sind ziemlich schmal, ihren stark entwickelten Leptomteilen sind Kollenchymsicheln vorgelagert, ihre Hadromteile sind mit Libriform versehen. Das mächtig entwickelte Mark, dessen Zellen zahlreiche kleine Stärkekörner enthalten, wird in seinem inneren Teile von einem Gefäßbündelnetz durchzogen, dessen Maschen ungleich weit sind und dessen Stränge nach allen Richtungen verlaufen[2]. Der konzentrische Bau dieser Bündel ist schon von J. E. Weiss[3] erkannt, doch erst von Vöchting genauer studiert worden. Die Mitte des Bündels wird von einigen engen, kollenchymähnlichen Elementen eingenommen, die wohl als Protoleptom zu deuten sind. Dann folgt ringsherum das eigentliche Leptom, dessen Elemente namentlich gegen die Peripherie des Bündels zu eine radiale Reihenanordnung zeigen. Die zu äußerst gelegenen Zellen dieser Reihen wird man mit Vöchting wohl als Kambiumzellen bezeichnen dürfen. An der Peripherie des Bündels liegen einzeln oder zu Gruppen vereinigt die Gefäße und Tracheiden. Je nach der Größe des Bündels sind 3—5 solcher Gruppen vorhanden; kleine Bündel weisen nur eine auf, so daß dann von kollateralen Bündeln zu sprechen ist. Den kleinsten Bündeln fehlen die wasserleitenden Röhren gänzlich.

Zu den Kulturen wurden würfelförmige und parallelepipedische Markstückchen von 1—3 mm Kantenlänge mit und ohne Gefäßbündelfragmente verwendet. Da dieselben sehr leicht der Fäulnis anheimfallen, so war durch Ausglühen der Messer, Pinzetten und Nadeln,

---

[1] H. Vöchting, Untersuchungen zur experimentellen Anatomie und Pathologie des Pflanzenkörpers. Tübingen 1908, S. 97.

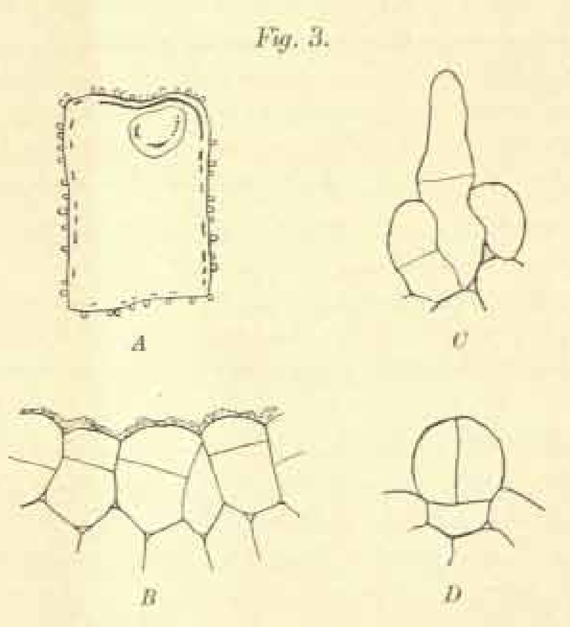
[2] Vgl. Vöchting, a. a. O. S. 23.

[3] J. E. Weiss, Das markständige Gefäßbündelsystem einiger Dikotyledonen usw., Bot. Centralblatt Bd. XV, 1883.

durch Auskochen des Filterpapiers usw. für möglichst vollständige Sterilisierung zu sorgen.

Das Ergebnis dieser Kulturversuche war folgendes: Bündellose Markstückchen zeigten je nach der Größe ein mehr oder minder reichliches Auswachsen der an die Wundflächen grenzenden Zellen zu blasigen Kalluspapillen. In konzentrierter Schwefelsäure sind die Papillenwände etwas widerstandsfähiger als die inneren Zellwände. Die Interzellularen unter den Wundflächen sind häufig mit bräunlichen

Fig. 3.



A Schematische Darstellung des Querschnittes durch ein Gewebestückchen aus dem Mark der Kohlrabiknolle (Vergr. 10). Oben rechts ein Gefäßbündel. Auf den Wundflächen Kallusblasen; darunter geben die stark ausgezogenen Linien und Striche die Orte an, wo Zellteilungen stattgefunden haben. — *B* zwischen Schnittfläche und Gefäßbündel gelegene Zellen, die sich geteilt haben. — *C* und *D* Kallusblasen über dem Gefäßbündel.

Auskleidungen versehen, die sich in Schwefelsäure nicht lösen. Zellteilungen wurden niemals beobachtet, weder in den Basen der Kallusblasen noch in den übrigen Zellen, die an die Wundflächen grenzten.

Die bündelführenden Markstückchen neigten vor allem zu reichlicherer Kallusbildung als die bündellosen. Über den Querschnitten der Gefäßbündel stellten sich fast immer Kallusblasen ein; wurde ein Bündel zufälligerweise der Länge nach getroffen, so traten auch auf dem Längsschnitt zahlreiche kleine Papillen auf. Waren die Markstückchen kleiner, so kam es fast nie zu Zellteilungen. An größeren Stückchen von 2—3 mm Kantenlänge dagegen stellten sich in den

an die Wundflächen grenzenden Zellen mehr oder minder zahlreiche Teilungen ein (Fig. 3). Keine Zelle teilte sich allerdings mehr als einmal. Wenn die Gefäßbündel nahe einer Schnittfläche verliefen, so traten in der darüber befindlichen peripheren Zellage so zahlreiche Teilungen auf, daß eine zusammenhängende Korkschicht vorbereitet wurde. An den vom Bündel entfernteren Teilen der Schnittflächen waren die Zellteilungen spärlicher (Fig. 3 A). Der die Teilungsvorgänge begünstigende Einfluß der Gefäßbündel trat so sehr deutlich zutage. Auch die Kalluspapillen traten in der Nähe der Gefäßbündel zahlreicher auf und zeigten hier jene verschiedenartigen Teilungen, die schon Vöchting (a. a. O. S. 90. 91) beschrieben hat (Fig. 3, C u. D).

Zuweilen traten an den Gewebestückchen auch jene Wucherungen auf, die Vöchting (a. a. O. S. 89) an größeren Markstücken regelmäßig beobachtete. Eine oder mehrere tiefer gelegene Zellschichten wuchsen zu einem Gewebe aus, das aus palisadenartig gestreckten Zellen bestand. An bündellosen Stückchen wurde derartiges nicht beobachtet. Bemerkenswert ist die Angabe Vöchtings (a. a. O. S. 90), daß an Gewebestückchen aus älteren Knollen, die schon im Beginn der zweiten Vegetationsperiode stehen, meist nur noch die Parenchymzellen in der Umgebung der Bündel wachsen; die ferner liegenden haben ihre Wachstumsfähigkeit schon verloren.

Aus dem Mitgeteilten geht hervor, daß auch bei der Kohlrabiknolle in kleineren Stückchen des Markes das Auftreten von Zellteilungen an die Gegenwart von Gefäßbündeln geknüpft ist. Diese begünstigen auch das Auswachsen von Kalluspapillen und Wucherungen. Daß dieser Einfluß vom Leptom ausgeht, kann schon im Hinblick auf den Bau der Gefäßbündel nicht zweifelhaft sein. In bezug auf die Art dieses Einflusses gelten hier dieselben Erwägungen, wie ich sie betreffs der Kartoffelknolle angestellt habe[1].

V.

In den bisher besprochenen Versuchen kamen bloß Gewebestückchen aus Stengelteilen zur Verwendung. Da es erwünscht war festzustellen, ob das, was für diese gilt, auch für Laubblattstückchen Geltung besitzt, habe ich Hrn. W. Lamprecht veranlaßt, im Pflanzenphysiologischen Institut der Universität Berlin eine Reihe von Kulturversuchen mit kleinen Laubblattstückchen von *Bryophyllum calycinum* und einigen *Peperomia*-Arten anzustellen. Über die sehr beachtenswerten Ergebnisse dieser Versuche soll im folgenden kurz berichtet werden.

[1] Zur Physiologie der Zellteilung, S. 334 ff.

Die Laubblätter der genannten Pflanzen sind deshalb sehr geeignete Versuchsobjekte, weil sie von ansehnlicher Dicke sind und reichlich Assimilate enthalten. Die Kulturen wurden in der Weise angelegt, daß aus der Lamina mit einem sterilisierten Skalpell quadratische oder rechteckige Stückchen von verschiedener Größe herausgeschnitten und mit ihrem basalen Rande in aufrechter Stellung in ausgeglühten nassen Sand gesteckt wurden, der den Boden einer PETRI-Schale bedeckte. Die Durchfeuchtung des Sandes geschah mit Leitungswasser, KNOPscher Nährlösung oder 1 prozentiger Rohrzuckerlösung. Bei den meisten Versuchen wurde nur Leitungswasser verwendet, da sich bald herausstellte, daß die Verwendung anderer Lösungen keine Vorteile bot. Die Kulturen standen vor einem Laboratoriumsfenster im diffusen Tageslicht.

Das ausgewachsene Laubblatt von *Bryophyllum calycinum* ist 0.7 bis 0.8 mm dick; sein ziemlich gleichartig ausgebildetes Mesophyll besteht aus 12—14 Zellschichten. Unter der oberen Epidermis befindet sich zunächst eine kleinzellige Parenchymzellage, dann folgen 4—5 Zellschichten, deren Zellen nicht oder kaum höher als breit sind, die aber durch ihre radiale Reihenanordnung an Palisadengewebe erinnern. Das Schwammparenchym besteht aus rundlichen Zellen, die keine Arme besitzen und ebenso chlorophyllreich sind wie die darüber befindlichen Zellschichten. Ihre Chlorophyllkörner enthalten mehr Stärke als die des oberen Assimilationsparenchyms. Die Gefäßbündel verlaufen fast genau in der Mitte des Mesophylls, der oberen Blattfläche etwas genähert, und sind auf Querschnitten durch das Blatt 0.6—0.8 mm voneinander entfernt.

An Blattstücken tritt unter den Wundflächen leicht Wundkorkbildung ein. Das kleinste Stückchen, das noch Teilungen aufwies, war quadratisch von 1.5 mm Seitenlänge. Im Hinblick auf das ziemlich engmaschige Gefäßbündelnetz wäre es technisch sehr schwierig gewesen, bündelfreie Blattstückchen mit den beiderseitigen Epidermen zu erhalten; auch dürfte man von so kleinen Stückchen, selbst wenn sie im Besitze von Bündelfragmenten gewesen wären, keine Zellteilungen mehr erwarten. Es wurden demnach relativ größere Blattstückchen von 4—7 mm Seitenlänge durch zur Oberfläche parallele Schnitte so in zwei Längshälften zerlegt, daß die eine Hälfte das oberseitige Mesophyll mit den Gefäßbündeln, die andere Hälfte nur das unterseitige bündellose Mesophyll aufwies. Beide Hälften wurden dann nebeneinander in derselben Schalte kultiviert. Das Ergebnis war, daß nach 6—7 Tagen nur die bündelführenden Lamellen Zellteilungen aufwiesen, die sich meist auf die Nähe der Gefäßbündel beschränk-

ten, während in den bündelfreien Lamellen, obgleich sie stärkereicher waren, als die bündelführenden, niemals Zellteilungen zu beobachten waren.

Die Laubblätter der untersuchten *Peperomia*-Arten (*P. incana, marmorata, amplexicaulis*) besitzen eine ansehnliche Dicke; so ist das von *P. incana* 2 mm, von *P. marmorata* 0.8—0.9, von *P. amplexicaulis* 1.5 mm dick. Unter der oberseitigen Epidermis befindet sich ein mächtiges Wassergewebe, das bei *P. incana* und *marmorata* fast bis zur Blattmitte, bei *P. amplexicaulis* meist über die Mitte hinausreicht. Das darunter befindliche Palisadengewebe besteht nur aus einer dünnen Lamelle (0.04 – 0.05 mm); seine Zellen, die 1—2 Lagen bilden, sind klein und kurz. Das Schwammparenchym, mit kurzen Zellarmen versehen, ist wieder mächtig ausgebildet und besteht aus 9—12 Zellagen. Es zeichnet sich in allen Jahreszeiten durch seinen reichen Stärkegehalt aus. Namentlich sind die Chlorophyllkörner der unter dem Palisadengewebe gelegenen Parenchymschichten von großen Stärkekörnern erfüllt. Das Gefäßbündelnetz breitet sich unmittelbar unter dem Palisadengewebe aus; auf Blattquerschnitten beträgt die Entfernung zwischen den einzelnen Bündeln 0.5—0.7 mm.

Das Ergebnis der Kulturversuche mit Blattlamellen, die durch Längsspaltung von quadratischen oder rechteckigen Blattstückchen von 7—10 mm Seitenlänge gewonnen wurden, war dasselbe wie bei *Bryophyllum calycinum*. Der Schnitt wurde knapp unterhalb der Gefäßbündel geführt, so daß die eine Lamelle aus der oberseitigen Epidermis, dem Wasser- und Palisadengewebe, den Gefäßbündeln und einigen Zellagen des Schwammparenchyms bestand, während die andere Lamelle von der Hauptmasse des Schwammparenchyms und der unteren Epidermis gebildet wurde. Nach 6—9 Tagen traten nur unter den Wundflächen der bündelführenden Lamellen Zellteilungen auf, und zwar in der Regel nur eine Wand in jeder Zelle, in der Nähe der Gefäßbündel aber meist zwei. Die bündellosen Lamellen dagegen ließen niemals Zellteilungen erkennen, obgleich sie weit stärkereicher waren als bündelführende Längshälften. Ein Blattstückchen von *Peperomia incana* wurde durch einen etwas schiefen Schnitt in zwei Lamellen geteilt, so daß eine davon an einem Ende aus einigen Schichten des Schwammparenchyms, am anderen Ende aus Schwammparenchym, Gefäßbündeln, Palisadengewebe, und 1 bis 2 Zellagen des Wassergewebes bestand; nur hier treten über den Gefäßbündeln in den Wassergewebszellen tangentiale Teilungen ein. Man ersieht daraus zugleich, daß der Eintritt von Zellteilungen durchaus nicht an einen größeren Vorrat von Reservestoffen in den betreffenden Zellen gebunden ist.

Nachdem so festgestellt war, daß auch in Laubblattfragmenten nur dann Zellteilungen eintreten, wenn Gefäßbündel zugegen sind, wurde die Art des Einflusses, den die Gefäßbündel ausüben, in ähnlicher Weise experimentell zu ermitteln versucht, wie ich dies bereits bei der Kartoffelknolle getan habe (vgl. a. a. o. S. 339 ff). Versuche mit Preßsäften blieben auch diesmal erfolglos. Dagegen wurde ein positives Ergebnis erzielt, wenn, so wie ich dies mit kleinen Kartoffelplättchen versucht habe, bündellose Lamellen auf bündelhaltige gelegt wurden. Ich will hier nur einige Beispiele mitteilen. Ein quadratisches Blattstückchen von *Peperomia amplexicaulis* wurde knapp über dem Palisadengewebe halbiert; die bündellose Wassergewebslamelle wurde sofort wieder, Schnittfläche an Schnittfläche, auf die andere bündelführende Lamelle gelegt. Durch entsprechendes Feuchthalten der Kultur wurde (wie in allen diesen Versuchen) das Verdampfen der zwischen den beiden Lamellen befindlichen Flüssigkeitsschicht verhütet. Nach 7 Tagen hatten sich nicht nur sämtliche an die Wundfläche grenzenden Zellen der bündelführenden Lamelle einmal geteilt, auch von den betreffenden Zellen der Wassergewebslamelle wies ungefähr ein Fünftel je eine Tangentialwand auf. — Von einem anderen Blattstückchen (9×8 mm) wurde eine bündellose 7 schichtige Schwammparenchymlamelle abgetrennt und sofort wieder auf die bündelhaltige gelegt. Nach 10 Tagen waren auf dem Querschnitt durch die Schwammparenchymlamelle in 22 Zellen, die genau über dem größten Gefäßbündel der anderen Lamelle lagen, tangentiale Zellteilungen eingetreten.

Diese Versuche wurden mehrfach mit gleichem Erfolge wiederholt. Eine Verwachsung der beiden Lamellen konnte nicht beobachtet werden. Wenn man dieselben mit 2 prozentigem Agar zusammenklebte, blieben die Teilungen gewöhnlich aus.

Natürlich wurden in den gleichen Schalen stets auch die erforderlichen Kontrollversuche ausgeführt, indem man die bündellosen und bündelhaltigen Blattlamellen voneinander getrennt kultivierte. In den letzteren treten stets, in den ersteren niemals Zellteilungen auf.

In einer anderen Reihe von Versuchen mit *Peperomia amplexicaulis, incana* und *magnoliaefolia* wurden an der ganzen Pflanze mit dem Rasiermesser kleine bündellose Schwammparenchym- und Wassergewebslamellen von etwa 5 mm Durchmesser vom sonst intakten Blatt abgeschnitten und gleich wieder aufgelegt. Die Wundränder wurden mit Kakaobutter oder mit Paraffin, das einen niedrigen Schmelzpunkt besaß, abgedichtet. Es sollen wieder einige Beispiele kurz besprochen werden. *Peperomia magnoliaefolia*: eine Schwammparenchym-

lamelle, in der Mitte 4 Zellagen dick, wird abgetragen, wieder aufgelegt und durch einen Paraffinring abgedichtet. Nach 27 Tagen hat sich ungefähr ein Viertel der an die Schnittfläche grenzenden Zellen je einmal geteilt. Unter der Wundfläche des Blattes sind in jeder Zelle 3—4 Wände aufgetreten. *Peperomia incana*: abgehobene Schwammparenchymlamelle, in der Mitte 7 Zellagen dick. Nach 19 Tagen zahlreiche einmalige Teilungen der an die Wundfläche angrenzenden Zellen. Über einem größeren Gefäßbündel haben sich die Zellen zweimal geteilt. *Peperomia incana*: die Schwammparenchymlamelle, in der Mitte 5 Zellagen dick, wird mit 2 prozentigem Agar auf die Wundfläche des Blattes geklebt. Nach 13 Tagen sind ihre Randzellen vertrocknet; in der Mitte tritt in fast allen Zellen, die an die Schnittfläche grenzen, je eine Teilwand auf. Die unter der Wundfläche des Blattes liegenden Zellen haben sich 3—4 mal geteilt.

Bisweilen traten nur in den Randpartien der abgehobenen Schwammparenchymlamellen Teilungen ein, die auf Wundkorkbildung abzielten. In der Mitte kam es beiderseits zur Bildung von mehrzelligen Kallusschläuchen.

Die Versuche mit Blattlamellen ergaben also ein viel günstigeres Ergebnis als die in analoger Weise durchgeführten Versuche mit bündellosen und bündelhaltigen Gewebslamellen aus der Kartoffelknolle. Sie lehren in einwandfreier Weise, daß von den Gefäßbündeln ein Reizstoff ausgeschieden wird, der in Kombination mit dem Wundreiz Zellteilungen bewirkt. Es kann nach dem in meiner ersten Mitteilung und auch in dieser Arbeit Vorgebrachten wohl keinem Zweifel unterliegen, daß dieser Reizstoff vom Leptom ausgeschieden wird[1].

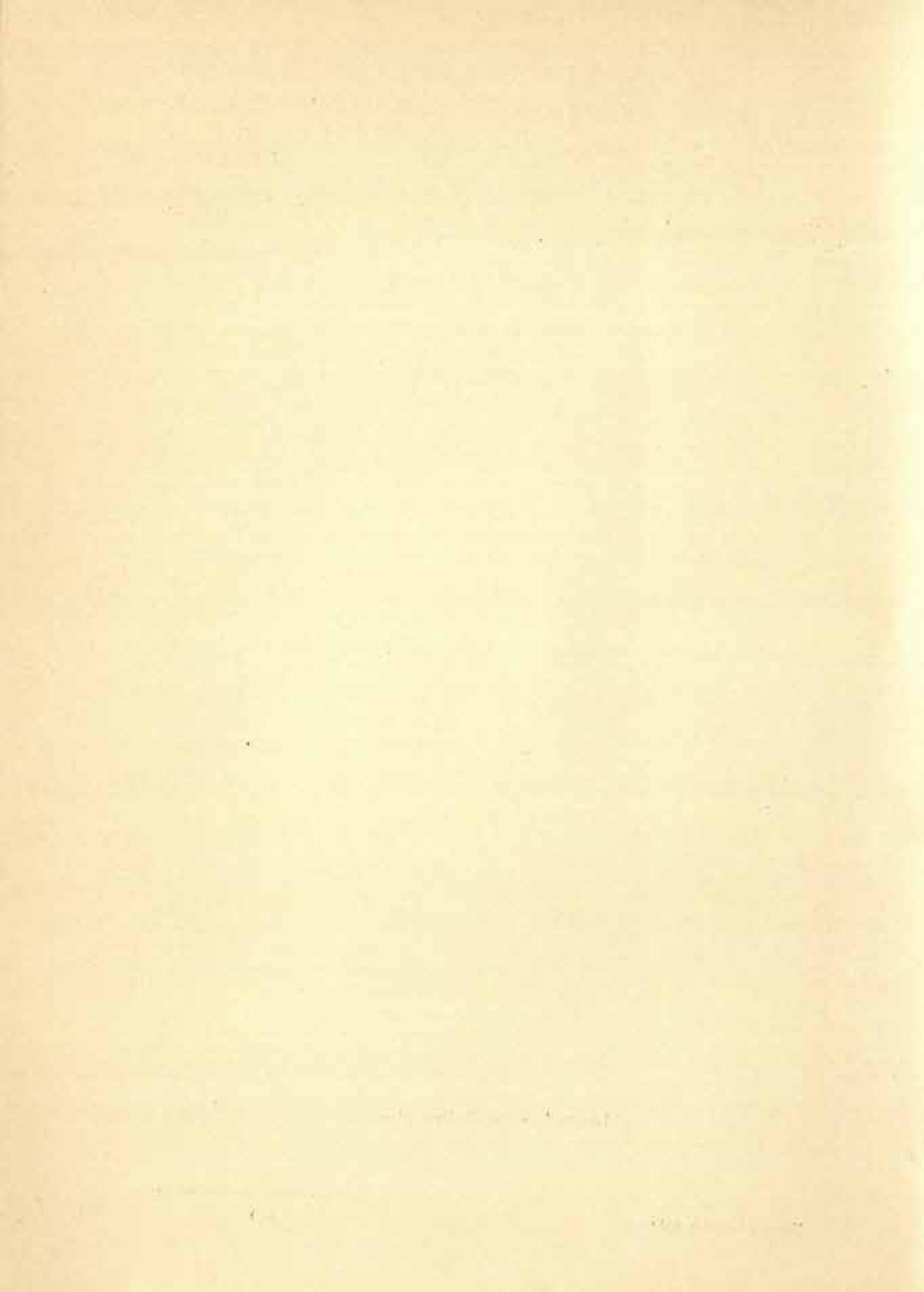
---

[1] Von Werner Magnus (die Entstehung der Pflanzengallen verursacht durch Hymenopteren, Jena 1914, S. 145, 146) wird die Vermutung ausgesprochen, daß zur Erklärung der von mir beschriebenen Tatsachen die Annahme ausreichen würde, »daß oxydable (soll wohl heißen oxydierende) und diastatische Fermente hauptsächlich in den Leptomzellen gebildet werden und in den durch den Wundreiz zur Teilung angeregten Zellen die zur Zellteilung notwendige Aktivierung der Nährstoffe bewirken«. Dagegen ist zu bemerken, daß meinen Beobachtungen zufolge bei der Kartoffel die Stärke vollkommen aufgelöst werden kann, ohne daß nachher in irgendeiner Zellage Teilungen eintreten; andererseits kann es schon bei geringfügiger Stärkeauflösung zu mehr oder minder reichlichen Zellteilungen kommen (a. a. O. S. 331). Gesteigerte Diastaseproduktion ist demnach keine Vorbedingung der Zellteilung. — Die Möglichkeit, daß der fragliche »Zellteilungsstoff« eine Oxydase sein könnte, die vielleicht mit Raciborskis »Leptomin« identisch ist, kann allerdings nicht bestritten werden. Sie gewinnt sogar eine gewisse Wahrscheinlichkeit, wenn man daran denkt, daß die Bildung von Kallus und Wundkork nach Verletzungen mit einer sehr bedeutenden Steigerung der Atmung verknüpft ist. Ich gedenke die Untersuchungen auch in dieser Richtung fortzusetzen.

Da die in der vorliegenden Mitteilung besprochenen Versuche mit Pflanzen angestellt wurden, die sehr verschiedenen Phanerogamenfamilien angehören, so glaube ich den Nachweis erbracht zu haben, daß die Bildung eines »Zellteilungsstoffes« seitens der Gefäßbündel bzw. des Leptoms bei den höheren Pflanzen eine sehr verbreitete, wahrscheinlich ganz allgemeine Erscheinung ist.

Ausgegeben am 17. December.

Berlin, gedruckt in der Reichsdruckerei.



1914.
XLVII.

SITZUNGSBERICHTE
DER
KÖNIGLICH PREUSSISCHEN
AKADEMIE DER WISSENSCHAFTEN.

17. December. Gesammtsitzung.

Vorsitzender Secretar: Hr. Planck.

Hr. Heusler sprach über die Heldenrollen im Burgundenuntergang.

Er verfolgt das Anwachsen der Heldenreihe von der ältesten Sagenform über die Stufen des baiwarischen Liedes und des ältern oberdeutschen Epos bis zum Nibelungenlied. Dabei sucht er den Verschiebungen der Niflunga saga genauer auf die Spur zu kommen und Blœdels, Irings, Osids Rollen sowie den Abschluß der Kämpfe in ein neues Licht zu stellen.

Die Heldenrollen im Burgundenuntergang.

Von Andreas Heusler.

Die Heldendichtung aller Völker wird uns kaum anderswo instand setzen, die Entwicklung eines Sagenstoffes so ausgiebig zu beobachten, wie bei den zwei germanischen Heroenfabeln, der Sigfrid-Brünhild-Sage und der Sage vom Burgundenuntergang. Die erste der beiden hat schon im Rahmen des kurzen Liedes, bei den Isländern, merkwürdige seelische Wandlungen erfahren; daneben erscheint ihr Ausbau im Nibelungenepos Teil I fast mehr wie Anschwellung, äußere Bereicherung. Der zweite dieser Stoffe, die Burgundensage oder Nibelungenot, hat die alten Nordländer weniger zum Weiterdichten gereizt; seine großen Schicksale erlebte er in der deutschen Dichtung. Innere Neugestaltung und reges Wachstum der Teile führten hier um 1200 zu der Darstellung, die wir im zweiten Hauptstück des Nibelungenliedes besitzen.

Nur einem Ausschnitt dieser Entwicklung gilt der folgende Versuch: ich gehe der Frage nach, wie sich die waffenführenden Persönlichkeiten der Nibelungenot zusammengefunden und gruppiert haben; in welcher Folge und aus welchen Antrieben die vielen jüngeren Helden den wenigen der ältesten Sagenform beigesellt wurden.

Wir bewegen uns da auf vielbearbeitetem Boden. Ich berühre mich insbesondere mit Forschungen der letzten zwölf Jahre von Boer, Droege, Neckel, Polak, Roethe, Seemüller, Vogt, Wilmanns; von älteren Schriften sind Hennings Nibelungenstudien (1883) hervorzuheben. Wo ich mit allen oder einzelnen dieser Vorgänger zusammentreffe und wo ich von ihnen abweiche, dies ist im folgenden nur ausnahmsweise angemerkt. Manches, besonders meine Ausgangspunkte in Abschnitt 1 und 2, hab ich ohne ausholende Begründung hinstellen müssen.

1.

Im Nibelungenlied füllen die Kämpfe der Burgunden 450 Strophen, verteilen sich auf zwei Tage und sind reich ausgestattet mit äußeren und seelischen Zügen. Zu dieser Ausstattung gehört eine

große Zahl benannter Helden, die gegeneinander auftreten und sich erschlagen oder gefangen nehmen. Es sind auf seiten der Burgunden sechs: die drei Könige und ihre Mannen Hagen, Dankwart, Folker. Auf seiten der Hunnen zehn: Blœdel; Iring, Hawart, Irnvrid; Rüedeger; Dietrich, Hildebrand, Wolfhart, Sigestap, Helferich (die übrigen Dietrichshelden fallen ohne benannte Gegner).

Diese reiche Gallerie ist das Ende einer Entwicklung. Am Anfang steht das ältere Atlilied der Edda mit seinen 43 Strophen. Da füllt der Kampf selbst nur sechs Langzeilen (möglich, daß ein paar Zeilen verloren sind) und zieht wie im Fluge an uns vorbei. Benannte Kämpfer sind nur die zwei Gibichunge Gunther und Hagen; die hunnischen Sieger sind eine namenlose Masse.

Es liegt nicht so, daß dieser eddische Liedtext ohne weiteres unseren Ausgangspunkt bilden dürfte. Wir fragen ja nach dem deutschen, fränkischen Stammvater. Aber eine ähnlich einfache, summarische Anlage dürfen wir auch dem fränkischen Burgundenlied zuschreiben.

Hätten wir keine Zwischenstufe zwischen diesem Lied und dem Epos um 1200, dann könnten wir wenig sagen über die Art und Weise, wie die Skizze sich ausweitete zum figurenreichen Gemälde. Aber zum Glück haben wir eine Zwischenstufe. Es ist die Niflunga saga aus der Mitte des 13. Jahrhunderts; sie erzählt in norwegischer Prosa den Burgundenuntergang. Ihr liegt zugrunde ein älteres, kürzeres deutsches Epos, das auch die Vorlage war von Nibelungenlied Teil II. Dieses »ältere Epos«, wie wir es kurz nennen wollen, war rauher, derber, männischer als sein höfischer Nachfolger. Daß es ebenfalls aus den Donaulanden stammte, schließen wir daraus, daß es dem Rüedeger von Bechlaren eine große Rolle gab, daß noch an einer Stelle der Saga, wie verloren, die Donau erscheint, und daß sein metrisches Gewand wahrscheinlich von der Kürnbergerstrophe bestimmt war. Das Epos mag in die 1160er Jahre fallen, später als der König Rother und die Lyrik des Kürnbergers, aber doch wohl ein gutes Menschenalter vor das NL.

An die lateinische Nibelungenot des 10. Jahrhunderts wage ich nach Friedrich Vogts Gegenbeweis nicht mehr zu glauben[1]. Wer, mit Roethe, in unserm »ältern Epos« die Verdeutschung einer Nibelungias sieht, der wird diese Zwischenstufe, ihrem wesentlichen Inhalt nach, aus der Stauferzeit in die ausgehende Ottonenzeit zurückschieben. Für die im folgenden behandelten Fragen macht dies keinen grundsätz-

[1] Vogt, Festschrift zur Jahundertfeier der Universität Breslau (1911) S. 484 ff.

lichen Unterschied; die Zahl der Stufen bliebe dieselbe. Ich betrachte also das deutsche »ältere Epos« als die uns überlieferte Zwischenstufe.

Überliefert — wir können es leider nur mit Einschränkung sagen! Die Niflunga saga ist nicht etwa eine reine Übertragung des oberdeutschen Epos. Es sind allerlei Entstellungen eingetreten; die rühren wohl öfter von dem nordischen Sammler und Verfasser her als von seinen sächsischen Gewährsmännern. Einen Fall werden wir bei der Rolle Irings und Blœdels kennen lernen. Mehr hat zu sagen, daß sich mit der oberdeutschen Dichtung niederdeutsche Züge verbunden haben. Die allgemeine Tatsache ist ziemlich einhellig zugegeben, aber wie die Mischung zu denken sei, das hat man sehr verschieden beantwortet. Boer und Polak sind dafür eingetreten, daß in der Nifl. s. zwei größere gleichlaufende Darstellungen des Burgundenuntergangs ineinander verflochten seien; beide ließen sich leidlich vollständig aus dem nordischen Texte herausschälen; die eine stände der Sagenform des NL näher, die andere enthielte die ausgeprägt niederdeutschen Züge; die Verflechtung der beiden Vorlagen hätte innerhalb der schriftlichen Textgeschichte der Thidreks saga stattgefunden[1]. Die Voraussetzungen, die diese Hypothese tragen, überzeugen mich nicht, und die beiden herausgeschälten Darstellungen kann ich nicht für glaubhafte, lebensfähige Heldengeschichten halten[2]. Mir stellt sich die Mischung vielmehr só dar. Die Nifl. s. hat ihr ganzes Gerüste, das allermeiste ihrer Substanz, aus dem baiwarischen Epos überkommen. Aber die niederdeutschen Vermittler, die Nacherzähler dieses ältern Epos, kannten eine im Sachsenland alteingebürgerte Nibelungentradition. Diese lebte in der alten Form des kurzen Liedes — man kann an mehrere gleichlaufende Lieder mit abweichender Sagenform denken; ein solches Lied in sächsischem Munde bezeugen die bekannten dänischen Stellen zum Jahr 1131. Aus dieser heimischen Liedtradition nahmen die niederdeutschen Erzähler ein paar sachliche Einzelheiten in die große hochdeutsche Dichtung herüber; sie bogen diese an einigen Stellen um nach ihrer sächsischen Sagenkenntnis. Darauf beruht die Einführung Osids und die Neugestaltung von Gunthers und Hagens Ende. Mit der Liedtradition wirkte zusammen eine Soester Ortssage; die hatte Vorgänge der Burgundendichtung (das Gastmahl, Gunthers Tod im Schlangenhof, Hagens Sturz im Kampfe, Irings Fall) in Soest lokalisiert[3]. Vermutlich

---

[1] Boer, Untersuchungen über die Nibelungensage 1, 138 ff. 230 ff.; Polak, Zeitschr. f. deutsches Altertum 54, 427 ff.

[2] Ähnlich urteilt Droege, Zeitschr. f. deutsches Altertum 51, 195 ff.

[3] Daß man eine Straße in Soest »Irings Weg« nannte, kann leicht auf dem alten Ausdruck *Íringes weg* (altengl.), *Íringes stráza* beruhen, der sicher mit der Iringsepisode der oberdeutschen Nibelungenot nichts zu schaffen hatte (vgl. Droege, Zeitschr.

gaben diese Ortsbindungen den ersten Anstoß, daß der Schauplatz all der Kämpfe so gründlich umgestaltet wurde: an Stelle der heroischen Szenerie, der Fürstenhalle — die im ältern Atlilied ebenso wie im NL feststeht —, trat ein Baumgarten und die Straßen der Stadt: eine weite, mehr realistische, zeitgeschichtliche Bühne. Für ein Stück der Darstellung darf man gradezu, mit Droege, von einer niederdeutschen, soestischen *Umarbeitung* des hochdeutschen Epos reden; ob diese ein halbgelehrtes Werk der Feder war, bezweifle ich (Zeitschr. f. deutsches Altertum 51, 195 f. 212 ff.). Auch auf den Verlauf der Heldenschicksale hat diese Soester Ortsbindung in éinem Punkte eingewirkt (s. Abschnitt 10).

Eine Stufe, die letzte, ist uns also unmittelbar gegeben: das Nibelungenlied. Zwei sind uns mittelbar gegeben: das altfränkische Lied durch das eddische Atligedicht, das ältere baiwarische Epos durch die Niflunga saga. Dazu kommt nun aber eine vierte, rein erschlossene Stufe. Sie fällt zwischen 1 und 2, noch in den Bereich des kurzen Liedes. Folgende Erwägung führt zur Ansetzung dieser Stufe.

Ein Hauptereignis in der Geschichte der Burgundensage war die Einwanderung dieses fränkischen, niederrheinischen Liedstoffes ins baiwarische Gebiet, die Donaulande. Hier mußte sich das fränkische Sagenbild anpassen an die gotisch-baiwarische Heldentradition (Dietrichs Exilsage) mit ihrem völlig abweichenden, günstigen Porträt von Attila-Etzel. Die Folge war die Umbiegung des Hauptmotivs: aus Kriemhildens Bruderrache an ihrem Gatten Etzel wurde Kriemhildens Gattenrache an ihren Brüdern. Wir werden sehen, daß eben diese Anpassung an die baiwarische Heldendichtung auch auf die Gestaltung der Kämpenrollen einwirkte, und zwar bereichernd.

Wann kam die fränkische Sage zu den Baiwaren? Nach Privatnamen in Urkunden nimmt man an: spätestens im 8. Jahrhundert[1]. Wahrscheinlich in noch frühere Zeit, vielleicht ins 6. Jahrhundert,

---

f. deutsches Altertum 51, 216). Als die Soester dann diese Dichtung kennen lernten, haben sie den Ortsnamen begreiflicherweise auf diese Heldentat Irings, den Kampf mit Hagen, bezogen; doch merkt man immer noch, daß dieser Kampf keinen rechten Grund bietet, einen »Weg« nach Iring zu benennen. Die verschiedenen Schreiber der Nifl. s. haben es denn auch als »Mauer« mißverstanden, wie wohl zuerst v. d. Hagen sah (Irmin, 1817, S. 32); auch die Schreibung der Membran, *steinvegr* mit 1 *g* (320_{13-15}), meint »Steinwand, Mauer«, s. die Stellen 311_{23}, 312_{1-5}. — Die drei übrigen Lokalisierungen sind wahrscheinlich von einem niederdeutschen Burgundenlied, nicht von dem Epos des 12. Jahrhunderts ausgegangen.

[1] Ist *Gérnôt* eine niederdeutsche Namensform, = hd. *Gér-nôz*? (G. Holz, Der Sagenkreis der Nibelungen[2] S. 94.) Und hätte ein -*ô*- in niederdeutschem Lehnwort nicht die hd. Diphthongierung des 9. Jahrhunderts mitgemacht? (Vgl. *Nuodung, Uote.*) Aber Schatz, Zeitschrift f. deutsches Altertum 43, 23 f., hält *Gér-nôt* und seine ganze Nachbarschaft für bodenständig hochdeutsch.

führt uns die Rücksicht auf die Walthersage. Schon deren Grundanlage, nicht erst der Waltharius von 930, setzt doch wohl voraus die Kenntnis der Burgundensage in der jüngern Gestalt mit dem milden Etzel. Doch mag diese Altersfrage hier auf sich beruhen.

Ich rechne im folgenden mit den vier Stufen: altfränkisches Lied — baiwarisches Lied — älteres Epos — Nibelungenepos.

Vier Entwicklungsstufen des Nibelungenstoffes hatte schon A. W. Schlegel 1812 vermutet, freilich in andrer Weise und sehr unbestimmt[1]. Müllenhoff nahm — in seinen Vorlesungen über die Nibelungensage — diese vier Epochen an: 1. Entstehung bei den Rheinfranken im 5. Jahrhundert; 2. Umbildung bei den Baiwaren vor der Mitte des 8. Jahrhunderts, Aufnahme von Dietrich und Rüedeger; 3. neue Blüte bei den Franken im Nordwesten, 11. Jahrhundert, mit Folker, Dankwart, Ortwin, Gere, Eckewart; 4. Blüte in Österreich um 1200. — Die dritte Stufe setze ich später und in die Donaulande; da ich sie nach der (von Müllenhoff immer stiefmütterlich behandelten) Nifl. s. bemesse, verweise ich Dankwart (die drei übrigen berühren uns hier nicht) auf die vierte Stufe. Dagegen fällt Rüedeger der dritten zu. — Wilmanns[2] fügt den vier »Hauptstufen« drei weitere Glieder bei, was mir entbehrlich vorkommt; es wirkt hier die Sammeltheorie nach, Stufe 3 zeichnet sich noch nicht als geschlossenes Epos ab. Dagegen erkennt Wilmanns diese dritte Stufe als bairisch-österreichisch. Darin schreitet er hinter Müllenhoff zurück, daß er die zweite nicht als baiwarisch würdigt und daher die nieder- und mitteldeutschen Gestalten Osid, Eckewart, Iring für den ältesten Zuwachs hält. Außerdem kann ich ihm darin nicht folgen, daß er Gernot, Giselher und Blœdel erst auf der dritten Stufe anbringt, und so ergibt sich mir denn ein wesentlich anderes Bild von dem Ausbau der Heldenrollen. Doch nun zur Sache!

2.

Unsre erste Stufe ist das altfränkische Lied. Es ist zu erschließen mit Hilfe des alten Atliliedes, zugleich aber mit Rücksicht auf die nachmalige deutsche Sagenform. Hier spielt gleich eine Streitfrage.

Das Atlilied nennt auf burgundischer Seite nur Gunther und Hagen. Auf Stufe 3 und 4 sehen wir außerdem Gernot und Giselher: der zweite ist ein geschichtlicher Burgunde; Gernot dürfte an Stelle des geschichtlichen Burgunden Godomar getreten sein. Wilmanns und Droege folgern

---

[1] Deutsches Museum 1, 535. Mit einer »dreifachen Bearbeitung« begnügte sich Joh. Müller; s. Körner, Nibelungenforschungen der deutschen Romantik S. 14.

[2] Der Untergang der Nibelungen (1903) S. 34.

nun: da diese beiden im Atlilied fehlen, sind sie erst später hereingekommen, und zwar auf gelehrtem Wege, aus schriftlicher Quelle[1].

Diese schriftliche Quelle müßte die Lex Burgundionum gewesen sein. Aber daß ein deutscher *Scop* oder Spielmann daraus Stoff geschöpft hätte, wird man nicht leicht glauben; Droeges halbgelehrtem Wormser Nibelungenepos unter Bischof Burchard mangeln die Stützen. Die Entlehnung von Heldenfiguren (nicht bloß Namensformen, wie *Attila*, *Theodricus*) aus gelehrter Quelle ist überhaupt, soviel mir bekannt, in keinem Falle bewiesen, nicht einmal bei Eckehart, der doch Attilas Stellung historisch ausmalt (Berliner Sitzungsber. 1909 S. 932). Vollends in unserm Falle, wo nur die spröde Liste der Lex Burgundionum als Quelle in Frage käme, wäre diese Annahme eine letzte Zuflucht. Ich glaube, es bietet sich uns ein besserer Ausweg.

Auch die Betrachtung der Sigfrid-Brünhild-Sage führt zu der Folgerung, daß schon die altfränkische Dichtung die beiden Liedfabeln in zwei Spielarten kannte[2]. In der einen war der unburgundische, fränkische Hagen als Bruder Gunthers aufgenommen und hatte sich an Gislaharis Stelle gesetzt; der dritte Bruder (Godomar-Guttorm) fiel schon durch Sigfrids Hand. Dies erbt sich in dem nordischen Lager fort. In der andern wurde Hagen zum Dienstmann, die beiden Brüder Gunthers (Giselher und Godomar-Gernot) hielten sich neben ihm. Dies setzt sich fort in dem deutschen Sagenaste. Danach dürfen wir die zwei geschichtlich-burgundischen Könige neben Gunther als altes Erbstück der deutschen Sagenform ansehen.

In unsrer Burgundensage scheinen sie freilich, neben Gunther und Hagen, zunächst keine plastischen Rollen gehabt zu haben, denn was Stufe 3 und 4 ihnen verleihen, ist gewiß jünger; sie wurden mitgeführt zwar nicht gradezu »ohne Anteil an der Handlung« und als »leere Namen« (Wilmanns), aber als Statisten, die etwa beim Aufbruch und wieder bei ihrem Falle, zwei-, dreimal, in formelhaften Versen angebracht waren. Ähnliches zeigt uns der eddische Erzählstil in dem grönländischen Atlilied bei den Söhnen Hagens (Strophe 30, vgl. 53); auch die gelegentliche Nennung von Gegnern im ältern Wölsungenlied, Helg. Hund. II 26 f., und im jüngern Helgilied Strophe 52 ist aus Abstand zu vergleichen.

---

[1] Wilmanns, Untergang S. 23; Droege, Zeitschrift f. deutsches Alt. 252, 211 ff. Nach Droege gölte dies nur von Giselher; Gernot wäre alteingewurzelt in der Sage. Sprechen unsre Quellen für diesen Vorrang Gernots?

[2] Etwas näher ausgeführt hab ich dies vor bald sechs Jahren in dem Artikel »Sigfrid« in Hoors' Reallexikon, den die jüngern meiner Leser vielleicht noch im Druck erleben werden.

Wirkliche Rollen hatten nur Gunther und Hagen. Nach dem Eddalied wird Gunther zuerst überwältigt und gefesselt. Hagen setzt die Gegenwehr fort, er bekommt eine kleine Aristie; nach FELIX GENZMERS Verdeutschung:

> Sieben erschlug
> Mit dem Schwert Högni,
> In heiße Flamme
> Flog der achte.
>
> So besteht ein Held
> Im Streit die Feinde,
> Wie Högni bestand
> Der Hunnen Überzahl[1].

Dann gerät auch er, wie das Weitere voraussetzt, in Haft. Diese Reihenfolge, Gunther — Hagen, ist bis auf Stufe 3 festgehalten; daß von Gunther keine besonderen Totschläge berichtet werden, sogar bis auf Stufe 4.

Nach Hagens Unterliegen aber tritt Gunther als Vordergrundsheld hervor (diese älteste Sagengestalt zeigt ihn, neben seiner Schwester, noch als die entschiedene Hauptperson): ér bekommt nun die große Trutzrede, worin er den Nibelungehort verweigert. Hagen stirbt hinter der Szene. Gunther endet im Schlangenhof als letzter der Burgunden. Über diesen Auftritt ist am Schluß noch zu handeln.

Daß beide Helden nicht den Kampftod sterben, diese eigenartige, für den Burgundenuntergang kennzeichnende Prägung ist noch auf Stufe 4 wohlbewahrt. Von all den später hinzutretenden Kämpen bleiben die beiden unterschieden dadurch, daß ihr Besieger sie gefangen nimmt.

3.

Nun die zweite Stufe, das baiwarische Lied.

Als frühesten Zuwachs zu den Urrollen betrachtet WILMANNS Osid und Iring[2]. Osid hat auf diese Ehre keinen Anspruch (s. Abschn. 6). Und wie steht es mit Iring? Ihn so weit hinaufzuschieben, obwohl ihm noch auf Stufe 3 und 4 eine konstruktiv notwendige Rolle abgeht, dazu bewog der Umstand, daß der Schimmer des Mythischen ihn umgab. Nach ihm hieß die Milchstraße *Îringes strâza*; die junge Soester Ortssage hat dies herabgezogen auf eine Gasse in Soest. Nun, das Mythische in allen Ehren, soviel scheint mir doch klar: der Thüringer Iring lebte seit Jahrhunderten in der Heldendichtung als tragische Gestalt einer Dienstmannensage. Aus dieser, gewiß unmythischen, Dichtung kannte man ihn; aus ihr konnte ein Buchepiker den gefeierten Helden in eine fremde

[1] Daß die schwierige Strophe 16 des Atliliedes auf ein vorangegangenes Gefecht weise (NECKEL, Beiträge zur Eddaforschung S. 151), kann ich u. a. deshalb nicht glauben, weil diese Worte der Schwester das Gegenstück oder die Vorstufe bilden zu Nifl. s. 298_{11}. NL 1685 (A), und auch diese Stellen gehn den Kämpfen voraus, gehören zu der ersten Begrüßung.

[2] Untergang S. 9 ff.; ebenso BOER, Untersuchungen 1, 187.

Sage hereinziehen, ihn zum Gegner Hagens machen. Sein Waffengang mit Hagen ist deutlich genug eine Episode des ausschmückenden Epenstils, keine in sich ruhende »Sage«, geschweige ein Mythus! Ich kann mir keinen Grund denken, weshalb ein baiwarisches Lied des 6. oder 8. Jahrhunderts diesen Thüringer in den Burgundenfall hereingezogen hätte.

Ganz anders lagen die Bedingungen für Dietrich und — wie ich vermute — Blœdel. Die standen bereit: sie waren in der Dietrichdichtung als Etzels Hausgenossen gegeben.

Bei Dietrich liegt dies am Tage. Wer es für Blœdel leugnete, wäre wieder gezwungen, diese geschichtliche Gestalt als spätere gelehrte Entlehnung zu erklären. Welche Rolle Blœdel in der alten Dietrichdichtung hatte, verraten uns unsre jungen Quellen freilich nicht mehr; denn die Quedlinburger Annalen gebrauchen zwar seinen unliterarischen, sagenhaften Namen *Bletla*, erzählen aber nichts Sagenmäßiges von ihm; die Thidreks saga kennt ihn nur in der Nifl. s. und weiß nicht einmal mehr, daß er Etzels Bruder ist; die mhd. Dietrichsepen verwenden ihn wie die erste beste Füllfigur. Räumt man die Wahrscheinlichkeit ein, daß Blœdel durch die gotische Heldendichtung auf die Nachwelt kam, dann macht seine frühe Aufnahme in die Burgundensage den Umstand begreiflich, daß er in der Dietrichdichtung verblassen konnte und dennoch im Gedächtnis haften blieb: sein neuer Standort, in der Nibelungenot, trug ihn durch die Jahrhunderte[1].

Unser baiwarischer Dichter zog Dietrich und Blœdel in sein Burgundenlied herein — nicht aus dem Bedürfnis, anzuschwellen (dieses Bedürfnis bestand für den Liedstil kaum), sondern aus der sachlichen Nötigung: bei dem großen Ereignis am Hunnenhof, so sagte er sich, können diese zwei Hausgenossen nicht abseits gestanden haben. Mitwirken mochte dieser Grund: jetzt, wo Etzel zum milden Väterchen geworden war und sein Weib den Angriff befehligte, wünschte man aus der namenlosen Hunnenmasse ein paar benannte Kämpen, handelnd, herauszuheben. Aber die eigentliche Ursache ist die erste.

Daß ein Mann wie Dietrich nicht »vorläufig als Statist« aufgenommen wurde[2], sondern alsbald eine gewichtige Rolle erhielt, versteht sich von selbst. Der Fall liegt ja grundsätzlich anders als vorhin bei Gernot und Giselher. Diese zwei mündeten als Rohstoff aus der Geschichte ein; wieviel Relief ihnen zufiel, das hing von allerlei

[1] Nähme man auf Grund des jüngeren Atlilieds an, daß schon die altfränkische Burgundendichtung eine Anspielung auf Blœdel enthielt, dann böte sich die Möglichkeit, diese Gestalt ohne Hilfe der Dietrichsage hereinzubringen. Vgl. Jiriczek, Die deutsche Heldensage[4] (Göschen) S. 86.

[2] Boer, Untersuchungen 1, 187.

Gunst und Ungunst ab. Dietrich dagegen stand prächtig gewölbt in seiner Stammsage; wer ihn erborgte, mußte ihm standesgemäßen Raum schaffen.

Dietrichs Tat, nehme ich an, war dieselbe wie auf der dritten Stufe: er bezwingt den letzten aufrechtstehenden Burgunden, Hagen: er endet den Streit. Genauer darf man vielleicht den Hergang so zeichnen: Hagen ist aus dem brennenden Saale ausgebrochen[1] und richtet unter den Hunnen ein Blutbad an; da stellt sich ihm, von Kriemhild beschworen, Dietrich, der einzige ihm gewachsene Gegner.

Aber auch die Hinrichtung der Kriemhild werden wir ihm schon beilegen müssen — auf Grund dieser Erwägung. In dem altfränkischen Liede starb Kriemhild im Feuer der Halle zur Buße für ihre grausigen Rachetaten an Mann und Kindern. Auf der dritten Stufe stirbt sie durch Dietrich zur Buße für ihre grausigen Rachetaten an den Brüdern und ihren Mannen. Zwischeninne kann es keine Form gegeben haben ohne den sühnenden Tod der Heldin; das würde die geschichtliche Kette zerreißen. Das baiwarische Lied aber, das nicht mehr die bruderrächende, sondern die gattenrächende Kriemhild kannte, konnte ihr Ende unmöglich nach der älteren Form erzählen; war doch der ganze absteigende Teil des Dramas (die Rache an Etzel, älteres Atlilied Strophe 32—43) beseitigt und damit der Saalbrand an eine frühere Stelle verpflanzt, in die Kämpfe gegen die Burgunden[2]. Kriemhildens Tod verlangte also einen neuen Unterbau. Der Übergang vom Selbstmord zur Hinrichtung wird kaum zu trennen sein von den tiefgreifenden Neuerungen, die aus dem fränkischen (eddischen) das oberdeutsche Sagenbild schufen. Etzel selbst aber, so wie die gotisch-baiwarische Dichtung ihn faßte, konnte die Hinrichtung am eigenen Weibe nicht vollziehen. Einem beliebigen Ungenannten durfte sie auch nicht zufallen. So blieb nur Dietrich für dieses sühnende Amt.

Für Blœdel vermute ich die Rolle, die ihm in der Nifl. s. Osid geraubt hat: er überwältigt Gunther. Es ist verständlich, daß man den König einem Königbürtigen unterliegen ließ, nachdem einmal ein solcher zu Gebot stand. Das in Abschnitt 6 und 9 Ausgeführte wird diese lose Vermutung, hoffe ich, einigermaßen stützen.

Man kann sich weiter fragen: hatte Blœdel auch schon die Rolle, die ihm in der Nifl. s. Iring geraubt hat, und die er im NL bewahrt? Nämlich daß er als erster dem Rachewunsch Kriemhildens seinen Arm leiht. Es wäre ja verständlich, daß Kriemhild, nachdem ihr Gatte zum friedfertigen Wirt geworden ist, sich zuerst an den Schwager

[1] Neckel, a. a. O. S. 180ff.

[2] Daß dies die ursprüngliche Stelle des Saalbrands gewesen sei, davon hat mich Neckel nicht überzeugt (a. a. O. S. 176ff.). Den von Neckel S. 180f. erschlossenen Hergang würde ich deshalb erst der zweiten Stufe zuweisen.

wendet. Nur ist zu bemerken, daß diese Anstachelung Blœdels entbehrlich war neben dem andern streitstiftenden Motiv, der Opferung des Kindes; und diese Opferung, die aus dem Knabenmord von Stufe 1 erwachsen ist, muß ja dem baiwarischen Lied schon angehört haben So ziehe ich die Annahme vor, daß Blœdels erster Friedensbruch auf der dritten Stufe zutrat, als man die Burgunden mit einem Gewaltshaufen von Knappen ausstattete (Abschnitt 5): das Lied verwendete Blœdel nur als Bezwinger Gunthers.

Denkbar wäre, daß auch schon Hildebrand — den ja ebenfalls die baiwarische Dichtung als Hausgenossen Etzels darbot — mit einer Rolle versehen wurde: etwa als Töter Gernots und Giselhers wie auf Stufe 3. Ich möchte dies eher dem breiten Epenstil versparen: wir haben bisher vier Genannte auf burgundischer, vier auf hunnischer Seite (Gunther, Hagen, Gernot, Giselher — Kriemhild, Etzel, Dietrich, Blœdel); damit wird sich ein Lied von höchstens 200 Langzeilen begnügt haben.

4.

Auf festeren Boden kommen wir mit der dritten Stufe: dem »ältern Epos« des 12. Jahrhunderts.

Jetzt zum erstenmal spielt der formale Antrieb zur Rollenvermehrung: die epische Breite. Eine Verserzählung von zehnfachem Umfang sollte mit Handlung gefüllt werden. Das geschah ja nun zumeist durch Ausführung der schon angedeuteten Motive, durch schattiertere Zeichnung. Aber auch ein Mehr an Gestalten war willkommen. Man bestritt den Bedarf mit bereitstehenden Figuren, mit neugeschaffenen, mit aus fremder Sage geholten.

Bereit standen Hildebrand (s. o.) und Rüedeger.

Auch Rüedeger kam aus der Dietrichsage. Sein frühester Zeuge, Metellus von Tegernsee um 1160, nennt ihn neben Dietrich: es liegt am nächsten, in diesem »carmen Teutonibus celebre« eine Dichtung von Dietrichs Exil zu sehen, denn dá hatten ja die beiden, Rogerius und Tetricus, in ganz anderem Maße das Übergewicht als in der Burgundensage. Vielleicht war es schon ein Epos von Dietrichs Exil; dann wird diese preisende Hervorhebung bei einem geistlichen Literaten verständlicher; auch mag man sich wohl vorstellen, daß die Österreicher, die Schöpfer des deutschen Heldenepos, den ersten Versuch mit dem Dietrichstoffe machten.

Wieweit Rüedeger in der Dietrichdichtung zurückgeht, ist eine Frage für sich. Nach den Grundzügen seiner Rolle halte ich ihn für eine Schöpfung der Ritterzeit[1]. Da er von Anfang an Etzels treuer

[1] Der zuletzt von Much erneute Versuch, Rüedeger auf den Erulerkönig Rodulf des 6. Jahrhunderts zurückzuführen, ist aufzugeben, seit Waldemar Haupt schlagend

Vasall und wohl auch Markgraf nied der Enns ist, stammt er gewiß nicht aus der Ottonenzeit, als diese Ostmark das neuerstandene Bollwerk gegen die gehaßten Hunnen-Ungarn bildete[1].

Dauernder Hausgenosse Etzels — wie Dietrich und seine Mannen — war der Bechlarer Markgraf zwar nicht; aber seine vertraute Stellung zu Dietrich und dem Hunnenkönig machte es fast selbstverständlich, daß der Burgundenuntergang ihn anzog[2]. Daß unsre Sage erst als Epos ihn aufnahm, ist das Wahrscheinliche: seine Rolle heischte viel Raum und feine Ausführung. In unserm ältern Epos ist er zunächst einmal das, was er in seiner frühern Umgebung von jeher gewesen ist: Etzels Lehnsträger und der beste Freund des landflüchtigen Dietrich. Sein Tod ruft Dietrich zu den Waffen, macht seinem Widerstreben ein Ende — es ist gleich dem Hauptmotiv der Ilias. Zugleich aber hat man schon Rüedeger zum Gastfreund und Geleiter der Burgunden gemacht und damit zur tragischen Gestalt. Ob er auch schon, drittens, Etzels Brautwerber und damit Kriemhildens Vertrauter wurde, wie im NL, ist fraglich: der Nifl. s. fehlt dies, doch könnte hier eine Störung eingetreten sein (Abschn. 6).

Ursache von Rüedegers Losgehen ist der Fall Blœdels[3] . . . Wir wissen nicht, ob schon auf Stufe 2 Dietrich als Freund der Burgunden

---

gezeigt hat, daß Roðingeir und Roðolf in der Thidreks saga erst durch ganz junge Verwirrung durcheinander geraten sind; der edle Bechlarer Markgraf hat, mindestens in süddeutscher Überlieferung, niemals Rudolf geheißen (MUCH, Rüdiger von Pechlaren, Wien 1913, S. 5ff. 15; HAUPT, Zur niederdeutschen Dietrichsage, Berlin 1914, S. 141ff.). MORGAN, Beitr. 37, 325ff. will Rüedeger von dem Spanier Rodrigo Diaz ableiten. Aber da es um die sachlichen Berührungen sehr ungünstig bestellt ist, wäre wenigstens Übereinstimmung der Namen zu verlangen! Insoweit hätte ein Versuch mit den normannischen Rogers mehr Aussicht (vgl. HAUPT, a. a. O. S. 166ff.).

[1] Man vergleiche FR. VOGT, Breslauer Festschrift S. 490. Treffend bemerkt schon A. W. SCHLEGEL, Deutsches Museum 1812, 1, 529 (im Hinblick auf das NL, nicht die Dietrichsage): Rüedeger und Dietrich »kämpfen, wiewohl ungern, doch mit unüberwindlicher Treue, für den Hunnenkönig gegen ihre eigenen Stammverwandten. Welch ein gefährliches Beispiel, da sich unter dem ersten Conrad, Heinrich und Otto die mißvergnügten deutschen Fürsten immer um Hilfe zu den Ungarn gewandt hatten!« Er lehnt es mit Recht ab, daß eine ältere Bearbeitung einen solchen Punkt entgegengesetzt dargestellt habe. Bd. 2, 17 weist er darauf hin, daß im 12. Jahrhundert die babenbergischen Herzöge mit den Königen Ungarns befreundet und verschwägert waren.

[2] WILMANNS, Untergang S. 18, schreibt: »Den Anlaß, Rüdiger mit der Nibelungensage zu verbinden, gab wohl seine Lokalisierung in Bechelaren . . . Die Nibelungen mußten auf ihrer Reise ins Heunenland durch sein Gebiet, so werden sie gastlich von ihm aufgenommen . . .« Diese Auffassung, die das Geographische dem Menschlichen so seltsam überordnet, kann man wohl nur erklären aus der verbreiteten Ansicht, Rüedeger von Bechlaren habe — so wie Iring, Walther, Hildebrand — seine eigene Sage besessen, und zwar eine »lokale Sage« (WILMANNS S. 24), woraus er dann in andere Sagen übertrat; oder er sei »lange Zeit ein frei schwebender Charakter gewesen«, bis einmal ein Dichter ein greifbares Schicksal für ihn fand (HENNING, Nibelungenstudien S. 9). Zu der ersten Annahme findet sich bei Rüedeger kein Grund, die zweite kann man sich schwer in concreto vorstellen.

[3] Nifl. s. 318_{10}.

galt und wie sein Einschreiten begründet war. Doch liegt die Vermutung nahe, daß die Rache für Blœdel — den Bruder seines Schutzherrn — den Ton trug. Verhält es sich so, dann ist auf Stufe 3 Rüedeger in dieses Amt eingetreten, hat hierin den Berner beerbt, um ihm das seelisch tiefere Motiv zu erstatten, den Schmerz um den treuen Helfer und Schicksalsgenossen.

Hildebrand und Rüedeger verhalfen aber auch den Brüdern Giselher und Gernot, die bisher als Statisten mitgeführt wurden, zu reicherer Ausgestaltung.

Giselher, mit Rüedegers Tochter verlobt, erschlägt seinen Schwiegervater mit dém Schwerte, das er von ihm als Geschenk empfangen hat. Dann erhält er eine schöne Todesszene; sie ist in der nordischen Prosa augenscheinlich echt bewahrt. Vier Helden sind noch übrig: Hagen und Giselher — Dietrich und Hildebrand. Hagen ruft dem zuschauenden Etzel zu: Das hieße ritterlich gehandelt, Jung Giselher das Leben zu schenken: ich allein bin Schuld an Sigfrids Tod. Da spricht Giselher: Meine Schwester Kriemhild kanns bezeugen: als Sigfrid erschlagen wurde, war ich fünf Jahre alt und lag noch neben meiner Mutter im Bett; aber das rede ich nicht deshalb, weil ich mich nicht zu wehren traute: meine Brüder überleben will ich nicht! Und damit stürmt er auf Hildebrand ein und bricht unter den Streichen des alten Waffenmeisters zusammen.

Eine der Stellen des ältern Epos, bei denen man bedauert, daß das jüngere sie aufopferte! Stücke davon sind freilich bewahrt, an andere Orte verpflanzt, wie so oft: NL 2029. 2038 (A) Giselhers Frage, was man ihm schuld gebe, und 2043 seine entschlossene Wendung: *Wir müesen doch ersterben . . . uns enscheidet niemen von ritterlicher wer;* dazu, auf Dankwart übertragen, das Wort: *Ich was ein wenic kindel, do Sivrit vlos den lip* (1861). Aber daß die Saga hier den primären Zusammenhang bietet, leuchtet ein[1]. Und so beweist sie, daß Giselher im ältern Epos nicht etwa durch Rüedeger umkam, wie man im Blick auf das NL geglaubt hat (Gernot und Rüedeger erschlagen sich gegenseitig); denn in dén Zusammenhang würden die obigen Repliken nicht passen. Die Nifl. s. kennt überhaupt keinen gegenseitigen Totschlag (wie das NL noch bei Giselher und Wolfhart); sie scheint darin das alte Epos treu wiederzugeben.

Gernot hat keine so unterscheidenden Züge, wie Giselher sie in seiner Jugendlichkeit und seinen engeren Beziehungen zu Rüedeger gewonnen hat. Auch die Verschiebungen und Zutaten des NL haben nicht hindern können, daß Gernot die blasseste unter den oft genannten

[1] So auch Wilmanns, Untergang S. 20.

Gestalten ist. In der Nifl. s. wirkt Gernot wie ein matter Doppelgänger Hagens. Bedeutsam tritt er nur hervor in seinem Angriff auf Blœdel (s. u.). Er fällt, wie Giselher, in den Schlußkämpfen durch Hildebrand. Wir haben allen Grund, dies der Vorlage zuzuschreiben; denn die Burgundenkönige, Gunther und Hagen inbegriffen, sollten als die letzten den Tod finden, und dann kam für Gernot und Giselher kein andrer Töter in Frage als Hildebrand (vgl. Abschn. 7).

Neu geschaffen wurde für unsere Stufe Folker. Er mag Modelle, sogar gleichbenannte, gehabt haben in der Spielmannsdichtung[1]; aber eine Sagenfigur in dem Sinne wie Iring, Hildebrand, Rüedeger war er unseres Wissens nicht. Es scheint, Folkers Rolle hat in der nordischen Nacherzählung viel eingebüßt; sein Spielmannstum betätigt er nirgends[2], und dies hängt doch wohl damit zusammen, daß die sächsischen Erzähler die geruhsame Nacht mit den gemütlichen Fragen »Wie habt ihr geschlafen?«[3] eingesetzt haben an Stelle der heroischen *Schiltwaht*. In dieser bedeutsamen Episode hatte das ältere Epos das Spielmannstum seines neugebildeten Helden ausgeprägt (die zweite, genrehafte Ausprägung, die an Rüedegers Hofe, brachte erst das NL hinzu). Denn darin gebe ich Droege recht[4]: sind beide Auftritte erst das Werk der vierten Stufe, dann war Folker auf der dritten noch kein Spielmann; der bloße Berufsname ohne die Berufsübung hätte bei einer Figur dieses Ranges keinen Sinn gehabt. In die Wage fällt Roethes Hinweis, daß Folker nur in Teil II des NL, und zwar etwa 40mal, der *videlære* heißt[5]; sollte das nicht aus der Quelle stammen?

Daß Folker keinen benannten Gegner überwindet, folgte aus dem gegebenen Heldenvorrat. Auch daß Dietrich ihn umbringt, wird ein echter Zug sein: dafür spricht die Symmetrie der Anlage, auf die wir nachher noch achten werden.

5.

Aus fremder Sage geholt ist Iring. Bei ihm glaube ich eine Störung in der Nifl. s. nachweisen zu können: eine versehentliche Erweiterung der Rolle, die das ältere Epos ihm gegeben hatte.

[1] Vgl. Edw. Schröder, Anz. f. d. Altert. 24, 395 f., Vogt, Festschrift der Universität Marburg 1913, S. 153. Das von Schröder vermutete stabende Paar »der venre unt der videlære« könnte freilich nicht in dem Wortschatz der deutschen Stabreimdichtung wurzeln.

[2] Roethe, Nibelungias und Waltharius S. 675 f.; Vogt, Breslauer Festschrift S. 507 f.

[3] Nifl. s. 300$_{22}$ ff.

[4] Zeitschrift f. deutsches Altertum 48, 483.

[5] Nibelungias S. 652.

Irings Waffengang mit Hagen wird durch die Übereinstimmung von Saga und NL für das ältere Epos erwiesen. Dieser ältere Epiker kannte wohl noch die alte Dienstmannensage Irings: den berühmten Thüringerhelden, der ja lebend aus dieser Geschichte hervorgeht, fand er brauchbar für seine Zwecke; er versetzte ihn unter die landflüchtigen Etzelrecken und verwandte ihn zur Bereicherung der Burgundenkämpfe. Irings altsagenhafte Stellung zu der Thüringerkönigin Amalberga, nach deren Willen er Fehde stiftet, mag auf Irings neue Stellung zur Hunnenkönigin eingewirkt haben[1]. Im übrigen ist das Kennzeichnende an seinem Porträt — der verschlagene und unwiderstehliche Ratgeber — ausgewischt und nur das Typische, der »vir audax, fortis manu« (Widukind), geblieben. Ob wohl unser Dichter eine gewisse Verwandtschaft empfand zwischen dem Dienstmann Iring und dem Dienstmann Hagen[2], als er die beiden gegeneinander stellte? Jedenfalls war ein Hauptzweck bei Irings Einführung: Hagen mit dem Sieg über einen benannten Gegner zu beleihen, das in unserer Sage von Anfang an gerühmte Kämpentum Hagens greifbarer zu verkörpern.

Aber die Nifl. s. gibt Iring eine zweite Rolle. Er läßt sich als erster von Kriemhild aufstiften, erschlägt die burgundischen Knappen und besetzt den Ausgang vom Gelage. Das NL hat dafür Blœdel. Dies, meine ich, entspricht dem älteren Epos. Die Störung bei dem Nordländer ist noch kenntlich[3].

Eh man zum Gelage geht, macht Kriemhild ihre Bittgänge, um einen der Fürsten für ihren Racheplan zu gewinnen. Sie beschwört Dietrich, dann Blœdel, dann Etzel: alle drei schlagen es ihr ab.

Schon dies befremdet. Nach epischer Gepflogenheit erwartet man, daß es bei dem dritten gelingt: die zwei ersten sind als Gegensatz und zur Steigerung vorangestellt. Der dritte muß Blœdel sein[4]. Im NL läßt er sich gewinnen. Hier, im jüngern Epos, fällt der Bittgang zu Etzel weg, weil dessen Wesen só edel gezeichnet ist, daß der bloße Versuch mit ihm sinnlos wäre; da bleiben nur die zwei Glieder, Dietrich und Blœdel. Die erfolgreiche Aufstiftung Blœdels gegen die Knappen und das berühmte Motiv der Strophe 1849 (*do der strit niht anders kunde sin erhaben* ∾ Nifl. s. 308$_{11}$) schließen sich nicht aus, wie Polak,

---

[1] Henning, Nibelungenstudien S. 204.

[2] Neckel, Germanisch-romanische Monatsschrift 1910, S. 14.

[3] Das Folgende berührt sich mit Henning, Nibelungenstudien S. 173.

[4] Daß die Reihenfolge Dietrich, Blœdel, Etzel nicht richtig sein kann, hat Wilmanns gesehen (Untergang S. 21); seine Überschätzung Irings hat ihn gehindert, die weitern Schritte zu tun. Die Reihenfolge im ältern Epos war sicherlich Etzel, Dietrich, Blœdel: nur darin liegt eine Steigerung, d. h. zunehmende Aussicht auf Erfolg.

Zeitschr. 54, 445 meint. Diese beiden strategischen Mittel Kriemhildens ergänzen sich: für die Niedermetzelung der Knechte könnte der reiche und hochherzige Etzel seine Gäste immer noch entschädigen; es braucht ein Mittel, das ihn selbst zu ihrem Feinde macht, eben die Tötung seines Söhnchens. Und anderseits, dieses *strît erheben* im Saale wäre für Kriemhild von zweifelhaftem Erfolg, wenn draußen noch die Schar der burgundischen Mannen stände[1]. Die geradlinige Erzählweise eines Liedes würde sich freilich mit der einen der beiden Streitursachen begnügen, und da die Opferung des Kindes das nachweislich ältere Motiv ist, haben wir dieses der Stufe 2 zugeteilt. Die Menge der Knappen, die getrennt von den Rittern zu überwältigen ist, ist die Neuerung des 12. Jahrhunderts und damit auch Blœdels erste Waffentat.

Die Nifl. s. muß also, da sie Blœdels Auftreten verbogen hat, einen vierten Versuch beifügen, den mit Iring. Dabei entsteht ein neuer Anstoß. Nachdem die Fürstlichkeiten schon ihre Plätze eingenommen haben, tritt Kriemhild zu Iring und verhandelt mit ihm; er sagt zu, steht auf, waffnet sich und ruft seine Ritter herbei. Das ist offenbar in diesem Zusammenhang, auf diesem Schauplatz, unmöglich; es müßte die allgemeine Aufmerksamkeit erregen; der Hergang ist nicht geschaut.

Dazu noch ein dritter Anstoß. Dieses Versprechen an Iring, ihm den Schild mit rotem Golde zu füllen (Nifl. s. 307_{18-22}), ist ein Doppelgänger der spätern Stelle, wo Iring gegen Hagen vorgeschickt wird (319_{14}): hier steht das Motiv in Saga und NL[2]; hier gehört es hin.

Dies zusammengenommen zeigt: jene erste Aufreizung Irings ist zu streichen; die Vorlage hatte die drei Bittgänge Kriemhildens, die in geschlossener Folge dem Setzen der Gäste vorangehen[3] und auf Blœdel auslaufen: er beginnt die Kämpfe, wie im NL. Daß im ältern Epos — wo ja der heroische Schauplatz mit der Halle, nicht dem Garten, festgehalten war — Blœdel, nicht Iring, die Türwacht übte, blickt möglicherweise noch durch in der Angabe der Nifl. s. 312_{20}: die aus dem Garten ausbrechenden stoßen auf Jarl Blodlinn mit seiner Schar.

Die hier aufgedeckte Störung wird eines der vielen äußerlichen Versehen sein, die dem Nordländer, dem Sagaverfasser, zur Last fallen. Der Umstand, daß sich Iring einmal durch Kriemhildens Gold zum Angriff locken ließ, drängte sich seiner Erinnerung zu früh auf. Die Folge war jener störende Doppelgänger und die Verwirrung mit Blœdel.

---

[1] Vgl. Kettner, Die österreichische Nibelungendichtung S. 184f.

[2] Strophe 1962 (A), vgl. 2005. Die Worte 1992, 4 *Kriemhilt nam im selbe den schilt vor liebe von der hant* sind das umgedeutete: *þá tók hún hans gullbúenn skiold*, das in der Nifl. s. mit an die frühere Stelle geraten ist (307_{18}).

[3] Wie im NL 1836 *E die herren gesæzen.*

6.

Anderer Art ist eine weitere Umbiegung der Vorlage, des ältern Epos. Sie betrifft den Bezwinger Gunthers. Hier kann ich mich nicht auf das NL berufen, denn dieses hat hier, nach allgemeiner Annahme, stark umgestaltet (Abschn. 9).

Nach der Nifl. s. macht Gunther einen Ausfall durch die Bresche, gerät an Herzog Osid, Etzels Brudersohn, »den gewaltigsten Kämpen«, und wird von ihm gebunden.

Osid ist die einzige benannte Gestalt der Nifl. s., die dem NL fehlt, ja der ganzen mittelhochdeutschen Epik fremd ist. Da erhebt sich sofort die Frage: hat dieser Mann mit dem niederdeutschen Namen dem älteren baiwarischen Epos angehört?

Die Nifl. s. selbst zeigt zwei verdächtige Züge. Osid, dieser »gewaltigste Kämpe«, ist, nachdem er die Brautwerbung für Etzel besorgt hat, wie vergessen. Keine der vielen Gelage- und Kampfszenen am Hunnenhofe kennt ihn; nur als Bezwinger Gunthers taucht er meteorartig auf, um sogleich wieder zu verschwinden[1]. Das widerspricht der Behandlung aller übrigen zwölf Rollen; diese behält der Erzähler im Auge; namentlich ihren Abgang durch Tod merkt er gewissenhaft an.

Zweitens fällt die Behandlung Blœdels auf. Die Saga nennt ihn ziemlich oft (achtmal), in friedlichen und kriegerischen Szenen: aber wirksam greift er nirgends ein, so daß Droege sich wundern kann, daß der »sonst wenig bedeutende Blœdel« bei seinem Tode so wichtig genommen wird[2]: der tapfere Gernot hat einen schweren Strauß mit ihm, und nachdem Blœdel geköpft ist, heißt es: nun sind die Nibelunge nicht wenig stolz, denn es ist nun ein Häuptling der Hunnen gefallen (318_8). Dieser Fall Blœdels ist es, der den Markgrafen Rüedeger in den Kampf treibt gegen seine Freunde, also den großen Umschwung herbeiführt.

Die Erklärung ist die, daß Blœdel in der Vorlage sehr »bedeutend« war, daß aber unsere Nacherzählung ihn zwiefach beraubt hat. Als Töter der Knappen und Hüter des Tores hat ihn, wie wir sahen, Iring verdrängt: als Bezwinger Gunthers aber der hereingeschneite Osid. Die erste dieser Unterschiebungen haben wir dem Sagaverfasser zur Last gelegt: mit dem Eindrängen Osids wird es eine andere Bewandtnis haben. Überschaut man Osids Vorkommen in der ganzen Sagenmasse

---

[1] Die Vorlage der Papierhandschriften A und B hat den Übelstand bemerkt und Herzog Osid beim Setzen der Gäste angebracht: 306, Note 12. B allein nennt Osid noch einmal als Teilnehmer an der großen Straßenschlacht: 317, Note 20. Dieselbe Hschr. B aber hat, gewiß versehentlich, Osid an der Hauptstelle, bei Gunthers Bezwingung, ausgelassen: 314, Note 1.

[2] Zeitschr. f. deutsches Altertum 51, 193. 195.

der Thidreksgeschichte, so kann man nicht glauben, daß erst der nordische Sammler, planvoll oder gedankenlos, ihn an unserer Stelle eingeführt habe. Aber auch ein bloßes Versehen der niederdeutschen Gewährsmänner ist er nicht.

Waldemar Haupt hat die ansprechende Vermutung aufgestellt, daß in Osid der sächsische Slawenkämpfer Hosed fortlebe, der durch die Erschlagung eines *regulus* im Jahr 955 »clarus et insignis« wurde. Ihn hätte man einem (oder dem) niederdeutschen Burgundenliede einverleibt als Etzels Neffen und Bezwinger Gunthers. Daran hätten sich später seine anderen, mehr höfischen Rollen angesetzt[1].

Trifft dies zu, so haben wir in dem Hereinspielen des »gewaltigsten Kämpen« Osid einen der altniederdeutschen Sagenzüge zu sehen, die sich dem dicken Stamme des oberdeutschen Burgundenepos wie Ranken anlegten. Das Hauptbeispiel dafür ist die Bestrafung des hortgierigen Etzel und was davon ausstrahlt (Abschn. 10).

Das Meteorartige, das uns an Osids Kommen und Verschwinden auffiel, wird bei dieser Annahme begreiflich. Osid ist eben nicht durch einen Dichter in das hochdeutsche Epos »hineingearbeitet« worden, wobei ihm gleichmäßigere Beachtung und ein beleuchteter Abgang zuteil geworden wären. Er ist eine zwanglose Erinnerung eines sächsischen Erzählers. Es brauchte ja wenig Umstände, um den Namen Osid für den Namen Blœdel einzusetzen.

Auf demselben Wege mag der Brautwerber des sächsischen Liedes, Osid, den Brautwerber des baiwarischen Epos, Rüedeger, verdrängt haben. Doch dies liegt außerhalb unserer Linie.

Unser Ergebnis ist, daß auf der dritten Stufe der Hunne Blœdel den König Gunther gefangennimmt. Dafür trifft ihn die Rache aus Gernots Hand. Es liegt offenbar Plan darin, daß die Brüder der beidseitigen Herrscher sich im Kampfe messen; aber das Planvolle rundet sich erst dadurch, daß der Bruder Gernot an Blœdel die Bruderrache vollzieht, und wenn Droege findet, zum Bezwinger Gunthers eigne sich der Königsneffe Osid so gut[2], nun, dann eignet sich der Königsbruder Blœdel doch noch besser!

Haben wir die Neuerungen des baiwarischen Liedes richtig eingeschätzt, dann waren Dietrichs wie Blœdels Rollen damals, auf der zweiten Stufe, schon vorhanden, aber beide mit einfacherem Inhalt. Es fehlte noch — um nur von den Kämpfen zu reden — die Tötung Folkers durch Dietrich und die Niedermachung der Knechte durch Blœdel mit der zugehörigen Aufreizung Kriemhildens.

---

[1] Haupt, Zur nd. Dietrichsage S. 88ff.

[2] Zeitschr. f. deutsches Altertum 51, 193; 52, 216.

7.

Neu eingeführt hat das ältere Epos vier Kämpen: drei auf hunnischer Seite (Hildebrand, Rüedeger, Iring), nur einen auf burgundischer Seite (Folker). Weil jedoch zugleich auf burgundischer Seite Gernot und Giselher Rundung gewannen, entstand eine ziemlich weitgehende Symmetrie der Anlage: fünf benannte Streiter in jedem Lager; je drei besiegen einen benannten Gegner: Hagen, Gernot, Giselher — Blœdel, Dietrich, Hildebrand. Die zwei einzigen Überlebenden, Dietrich und Hildebrand, erhalten je zwei benannte Opfer. Doch äußert sich darin wohl auch eine Vorliebe für die Amelungen, wie sie einem baiwarischen Dichter nahelag. Das NL hat da unparteiischer verteilt.

Planvoll ist auch die steigernde Reihenfolge. Auf Etzels Seite erliegt zuerst der Hunne Blœdel, dann der den Burgunden fernstehende Thüringer Iring, dann der den Burgunden befreundete Rüedeger; zuletzt räumen den Schauplatz die vier burgundischen Helden (Folker, Gernot, Giselher, Hagen) — nur Gunther ist als allererster in Gefangenschaft, nach der Nifl. s. auch in den Tod, geraten. Darüber haben wir beim NL noch zu sprechen.

Mit diesem wohldurchdachten Aufbau gibt die nordische Prosa gewiß ihre epische Quelle wieder. — Nebenbei: man sieht auch von dieser Seite, wie unmöglich es ist, die Nifl. s. auf eine Reihe einzelner deutscher Lieder zurückzuführen! — Danach scheinen mir Droeges Bedenken gegen diesen Teil der Saga unbegründet[1]. Er findet, Folker als Dietrichs Gegner komme etwas ungelegen dazwischen, und Hildebrand sei durch die Tötung Gernots und Giselhers auffallend reichlich belastet. Auch meint er, und hier steht Roethe auf seiner Seite[2], im ältern Epos habe Wolfhart schon eine größere Rolle gehabt. Ich glaube vielmehr, im Blick auf die dargelegte Symmetrie, daß die Nifl. s. keinen einzigen Helden ihrer Vorlage unterdrückt hat. Auch zu Entstellungen, wie Polak sie in Giselhers Rolle ansetzt[3], brauchen wir nicht zu greifen: nach ihm wäre Giselher schon durch Rüedeger gefallen; wo er später noch auftritt, müßten wir ihm anfangs Gunther, nachher Hagen unterschieben. Aber das führt zu so unmöglichen Schlüssen wie dem, daß Gunther durch Hildebrand erschlagen wird[4],

---

[1] Zeitschr. f. deutsches Altertum 52, 215 ff.

[2] Nibelungias S. 682.

[3] Zeitschr. f. deutsches Altertum 54, 455 ff.

[4] Dies auch bei Boer, Untersuchungen 1, 277; vgl. Henning, Nibelungenstudien S. 219. 248.

— Gunther, der von der ersten bis zur letzten Stufe das unverrückbare Schicksal hat, in der Haft, nicht im Kampfe zu enden!

In manchen und wesentlichen Punkten also kann ich für die »Echtheit« der Nifl. s., d. h. ihre treue Wiedergabe des ältern Epos, eintreten. Von den zwei erwähnten Störungen hat die eine, die Vertauschung der Namen Blœdel und Osid, wenig zu bedeuten. Etwas mehr Unordnung schafft das Eindringen Irings in Blœdels Bereich, doch ist auch dies nicht zu vergleichen mit den von anderer Seite vermuteten Entgleisungen. Die stärkste Abweichung vom ältern Epos — zugleich die am klarsten nachzuweisende — wird uns in dem Auftritt vor Kriemhildens Tod begegnen. Im übrigen wird uns ja das räumliche Bild dieser Kämpfe durch die Saga sehr mangelhaft vermittelt. Gemäß ihrer bekannten Umformung läßt sie auch den Angriff Dietrichs und seiner Mannen als Straßenschlacht beginnen, so daß nachher Folker als Türhüter von dem eindringenden Dietrich überrannt wird und erst das weitere im geschlossenen Raume vor sich geht. Das ältere Epos hat die Halle gewiß schon als Steinbau behandelt, so daß die aus der zweiten Stufe ererbte Brandlegung das Gebäude nicht mehr zerstören konnte, so wenig wie im NL. Daher finden — noch in der Saga — die letzten Kämpfe in der Halle statt[1]. Spielte aber der ganze Kampf der Dietrichsmannen in der Halle, dann konnte das Überleben der vier burgundischen Hauptkämpen nicht, wie in der Saga, aus ihrer Bergung durch den Saal erklärt werden; aber eine besondere Begründung verlangte das überhaupt nicht: man empfand es einfach als dichterische Notwendigkeit. Auch im NL überleben ja Gunther und Hagen den Massenkampf gegen die Amelungen einfach deshalb, weil der Dichter sie für die abschließenden Zweikämpfe braucht.

Eine rein stilistische Verschiebung des Sagaschreibers sehe ich darin, daß Dietrichs Waffengang mit Hagen schon auf S. 322, Z. 19 beginnt: dieser Kampf legt sich nun gleichsam als Rahmen um die Tötung Gernots und Giselhers durch Hildebrand, und ihn unterbricht unbedingt störend Hagens Fürbitte für Giselher. Eine solche zweisträngige, abspringende Erzählweise geht in der Sagaprosa leichter an als in einem Epos; ganz ähnlich begegnet sie beim Angriff Rüedegers (s. u.). Es ist deutlich, daß Hagens Zweikampf erst mit seiner feierlichen Aufsage an Dietrich, S. 324 Z. 1, beginnen darf.

Die Reihenfolge der Kämpfe im ältern deutschen Epos denke ich mir demnach so:

[1] Man halte daneben Neckel, Beiträge zur Eddaforschung S. 183. Mehreres von dem hier Erschlossenen gehört m. E. auf die zweite, liedhafte Stufe, nicht mehr in die Vorlage der Nifl. s.

1*. Blœdel erschlägt die Knappen und besetzt die Tür der Halle.
2. Köpfung des Söhnchens, Kampf im Saale.
3. Blœdel läßt die hunnischen Fürsten heraus[1]. Die Burgunden erschlagen die übrigen Hunnen im Saal.
4. Gunther macht einen Ausfall (oder versucht durch die Tür zu dringen)[2] und wird von Blœdel gefangen genommen.
5*. Blœdel, beim Versuch in den Saal zu dringen[3], fällt durch Gernot.
6*. Pause. Kriemhild feuert zum Kampfe an.
7*. Iring dringt gegen Hagen vor und fällt.
8. Nacht. Saalbrand.
9*. Rüedeger greift ein und fällt durch Giselher.
10*. Dietrich mit seinen Mannen greift ein. Die Burgunden fallen bis auf Hagen, Gernot, Giselher, Folker.
11. Die schließenden Einzelkämpfe: Dietrich köpft Folker; Hildebrand erschlägt Gernot und Giselher; Dietrich nimmt Hagen gefangen.
12. Die Horterfragung: Hagen weigert sich, das Versteck des Hortes zu verraten; Kriemhild läßt Gunther im Kerker töten und köpft Hagen.
13. Dietrich haut Kriemhilden entzwei.

Die besternten Nummern betrachte ich als Zuwachs zu dem baiwarischen Liede. Dieses gab in Szene 3 dem Blœdel wohl noch keine besondere Rolle, und der Inhalt von Szene 11 war noch einfacher: die Burgunden brechen aus der brennenden Halle aus, alle bis auf Hagen fallen (summarische, formelhafte Kampfverse); Dietrich nimmt Hagen gefangen.

Daß ich Szene 12, gegen die Nifl. s., dem ältern Epos zuschreibe, werde ich im Schlußabschnitt noch rechtfertigen. Hier sei dieses Bedenken noch angemerkt. Die Saga schließt Rüedegers Eingreifen (Szene 9) zeitlich und ursächlich an Blœdels Fall an (Szene 5). Diesen Zusammenhang zerreißt die obige Ordnung — notgedrungen! Man könnte ja Szene 5 nach hinten rücken, unmittelbar vor 9; allein, damit schüfe man sich eine andere Ungelegenheit: Iring fiele dann früher als Blœdel, während doch die in Nifl. s. und NL übereinstimmende Reihenfolge der Tode[4] (Blœdel–Iring–Rüedeger–Gernot–Giselher–Hagen) gewiß dem älteren Epos verbleiben muß.

[1] Die Saga erzählt dies nicht ausdrücklich, aber zu 309_{16}ff. muß man es ergänzen.
[2] Ein Nachklang davon im NL Strophe 1941 (A)?
[3] Ein Rest davon, verpflanzt auf Etzel, im NL Strophe 1957 f.?
[4] Beobachtet von Kettner, Österreich. Nibelungendichtung S. 188.

Daß aber in der Saga Rüedeger gleich nach Blœdels Falle losgeht und dennoch die Reihenfolge Blœdel–Iring–Rüedeger bestehn bleibt, dies ermöglicht der Nordländer nur durch seine abspringende Erzählweise (s. o.): »Rüedeger . . . läßt sein Banner in die Schlacht tragen. . . . Und nun hat er lange Zeit gekämpft. Nun dringt Hagen ganz allein mitten ins Hunnenheer vor . . [folgt sein Kampf mit Iring; zwei Seiten später:] In diesem Zeitpunkt trägt sich nun Großes zu: Markgraf Rüedeger dringt scharf vor . . . [dann sein Fall durch Giselher]«. — Diese Erzählart traue ich dem ältern Epos nicht zu und sehe mich daher vor dem Dilemma: entweder fiel Blœdel später als Iring — im Widerspruch mit Saga und NL; oder Rüedegers Losgehn folgte nicht alsbald auf Blœdels Tod — für dieses zweite hat sich meine obige Anordnung entschieden. Ein ursächliches Band kann und wird ja dennoch dagewesen sein (vgl. oben Abschn. 4): z. B. Etzel beschwört seinen Markgrafen, seinen Bruder zu rächen.

8.

Endlich die vierte und letzte Stufe, das Nibelungenlied.

Die Burgundensage hat hier mindestens den doppelten Umfang wie in dem älteren Epos. So ist denn auch die Zahl der benannten Kämpen vermehrt. Auf burgundischer Seite ist nur Dankwart zugetreten, auf hunnischer Seite Irnvrid, Hawart und eine Reihe von Dietrichsmannen, von denen drei einem benannten Gegner gepaart werden: Wolfhart, Helferich, Sigestap.

Woher stammen diese neuen Gestalten?

Derjenige, der weitaus am liebevollsten geformt ist, Dankwart, scheint eine Neuschöpfung zu sein — was ja irgendein Modell aus der Umgebung des Dichters nicht ausschließt.

Irnvrid, Landgraf von Thüringen, ist der Irminfrid der alten Iringsage. Es sieht so aus, als habe ihn Iring nach sich gezogen. Allein, unserm Dichter kann der Inhalt der Sage nicht mehr vor Augen gestanden haben; sonst könnte er nicht den durch Iring ermordeten Fürsten in den Burgundenkämpfen sterben lassen und seinen ungetreuen Ratgeber Iring zum Dienstmann eines Dänenfürsten machen[1]!

---

[1] Klage und Biterhof haben dann weiter an diesen Gestalten herumgefabelt: W. Grimm, Heldensage³ S. 128 f.; Vogt, Marburger Festschrift S. 164. Die Angabe in der »Herkunft der Schwaben«, Irmenfrid sei mit dem Rest seiner Mannen zu Attila ausgewandert, muß doch wohl das NL voraussetzen (umgekehrt W. Grimm S. 130 f.); die alte Iringsage ist natürlich auch hier erloschen.

Dieser Däne, Hawart, ist dunkler Herkunft. Auf den Hadawartus des Waltharius wiesen W. Grimm und Roethe hin[1]; Much denkt an den Dänen Hávarđr enn handrammi[2], den wir als bloße Stammbaumfigur in den Skjöldungentafeln der Isländer kennen[3]. Er ist ein Enkel des Friedens-Frodi: undenkbar ist es nicht, daß sein Name im Zusammenhang mit dem *milten Fruote*, wohl in einer kleinen Merkversgruppe, hochdeutschen Dichtern zu Ohren kam.

Von den jugendlichen Dietrichsmannen haben Wolfhart und Helferich (Ulfrađr und Hjalprikr) ihre Rollen in den Dietrichsgeschichten der Thidreks saga: diese beiden hat das NL gewiß in dem älteren österreichischen Dietrichsepos vorgefunden. Da wir Sigestap und die übrigen sonst nur in der Klage und den jüngeren mittelhochdeutschen Dietrichsepen kennen, bleibt unentschieden, ob unser Dichter diese Statisten auch schon übernommen oder selbst erfunden hat.

Von diesen sechs Neulingen sind Hawart und Irnvrid, Sigestap und Helferich im NL bloßes Füllsel. Hawart wird, neben dem überkommenen Iring, Hagens zweites Opfer. Auch Folker erhält nunmehr zwei benannte, ihm unterliegende Gegner in Irnvrid und Sigestap. Helferich wird mit der Tötung des kühnen Dankwart betraut. Die beiden übrigen dieser jüngsten Schicht, Wolfhart und namentlich Dankwart, greifen tiefer in das Gefüge der Handlung ein, geben den überlieferten Gruppen einen neuen Umriß (Abschn. 9).

Eine deutliche Ausweitung ist es ferner, daß die sechshundert Dietrichsmannen ihren Massenkampf und -untergang erleben, ehe Dietrich selbst, als einzelner, eingreift und das Schicksal entscheidet[4]. Dies trug zwar dem NL mehrere prachtvolle Einzelheiten ein, aber auch den Nachteil, daß sich das Band zwischen Ursache und Wirkung, zwischen Rüedegers Tod und Dietrichs Losgehen, lockerte. Man halte das einfache, feste Gefüge der Saga (321_{19} »Nun sah König Dietrich, daß Markgraf Rüedeger tot war; da rief er laut: Jetzt ist tot mein bester Freund, Markgraf Rüedeger: jetzt kann ich nicht länger ruhig sitzen; alle meine Mannen sollen zu den Waffen greifen . . .«) neben die gedehnte Strecke NL 2247—2269 (A): hier hat der Dichter sichtlich Mühe, neben dem Schmerz um die toten Amelungen das ältere Rüedeger-Patroklosmotiv zur Geltung zu bringen.

---

[1] Roethe, Nibelungias S. 666.

[2] Much, Rüdiger v. P. S. 17.

[3] Arngrims Skjöldunga saga, Aarbøger 1894 S. 107; Flateyjarbók 1, 26f.

[4] Anders Droege, Zeitschr. f. deutsches Altertum 52, 216; richtig Wilmanns, Untergang S. 17.

9.

Daß die Kämpferpaare des älteren Epos um jene sechs neuen Gestalten vermehrt sind, ist Nebensache. Wichtiger ist, daß der letzte Epiker die Paare in überraschendem Maße neu zusammengesetzt hat, dergestalt daß von seinen vierzehn Besiegten nur zwei demselben Gegner unterliegen wie auf der früheren Stufe: Iring dem Hagen, Hagen dem Dietrich. Alles andere ist neu gruppiert — aus ständischen und seelischen Erwägungen, die dem menschlich-künstlerischen Feingefühl des Dichters alle Ehre machen. Dieser Epiker sitzt wie ein Schachspieler über seinen Figuren.

Zunächst fällt auf, daß Hildebrand sehr entlastet ist[1]: statt der Brüder Gernot und Giselher fällt nur noch der Videlære ihm zum Opfer. Wir erkennen zwei Gründe der Neuerung: den naheliegenden ständischen, daß der bärbeißige Waffenmeister als zweier Könige Töter zu hoch geehrt war. Sodann aber war jetzt das Henkeramt an Kriemhild von Dietrich auf Hildebrand abgewälzt; da vermied es der Autor in richtigem Gefühl, den einen Kriegsmann dreifach das burgundische Königsblut vergießen zu lassen.

Daß Folker dem Dietrich abgenommen wurde, hatte wiederum den Grund, daß der Berner jetzt die beiden burgundischen Häupter, Hagen und Gunther, zu Gegnern bekam. Mehr als zwei benannte Helden überwindet keiner im NL. Der schwertgewaltige Spielmann und der erprobte Waffenmeister gaben ein wohlgeeignetes Paar. Daß Hildebrand siegt, war durch die weitere Sagenhandlung gegeben; Folker wurde gehoben durch seinen Sieg über zwei Helden fürstlichen Geblüts, Irnvrid und Sigestap (Dietrichs Schwestersohn).

Eine augenfällige Milderung ist es, wenn Rüedeger nicht mehr durch seinen Eidam Giselher stirbt, sondern durch den ihm fernerstehenden Gernot (auf den nun auch die Schwertschenkung übertragen ist). Daß Rüedeger gleichzeitig dem königlichen Gegner den Tod gibt, diese Neuerung dient dazu, den Markgrafen zu heben. Bei dieser Neugruppierung erlangte Gernot zugleich einen vollwertigen Ersatz für die Erschlagung Blœdels, die er an Dankwart abtreten mußte. Für Giselher fand sich ein würdiger Gegner in Wolfhart, der als Hildebrands Neffe von den anderen Dietrichsmannen sich abhebt und schon in älterer Dietrichsdichtung angesehen dastand (s. o.); unser Epiker hat dafür gesorgt, ihn durch wiederholtes Auftreten vor seinen Waffenbrüdern auszuzeichnen.

---

[1] Das folgende gr. T. bei Wilmanns, Untergang S. 22.

Die bedeutsamste Neuerung knüpft sich an die Namen Dankwart, Blœdel und Gunther.

Dem älteren Epos haben wir diesen Verlauf zugeschrieben: Blœdel läßt sich von Kriemhild aufreizen, erschlägt die Knappen, besetzt die Tür und bindet den ausbrechenden Gunther; später fällt er durch Gernot. Nur die zwei ersten Glieder dieser Folge, Blœdels Anstiftung und die Niedermetzelung der Knechte, hat unser Dichter beibehalten; dann schlägt er eine ganz andere Bahn ein. Dankwart, der als Marschalk die Knechte befehligt, köpft den Angreifer Blœdel und entkommt zu den tafelnden Fürsten. Die Folge ist, daß die Tür des Saales nun in die Gewalt der Burgunden kommt: dies gestaltete den weiteren Verlauf erheblich um[1]. Uns berührt hier dies: Blœdel verliert seine alte Rolle, die des Bezwingers von Gunther (zugleich seinen Untergang durch Gernot, s. o.).

Ein Anstoß zu dieser ganzen Neuerung lag jedenfalls darin, daß unser Epiker das Heldentum der Burgunden steigern wollte. Die Kette der Kämpfe beginnt sogleich mit einem glänzenden Siege Dankwarts über den Bruder des Hunnenkönigs. Diese neugebaute Handlung wird von dem neugeschaffenen Helden getragen.

Den Hunnen fällt jetzt, am Ende der ganzen Entwicklung, überhaupt kein Sieg mehr zu. Am Anfang waren sie die einzigen Gegner gewesen; durch die Einführung Dietrichs, dann Irings, Rüedegers, Hildebrands, endlich nun Dankwarts, war stufenweise den alten Gegenspielern der Lorbeer des Sieges wie des Heldentodes entwunden. Die Erniedrigung Blœdels vom Sieger über die Knappen und über Gunther zum Opfer des burgundischen Marschalks war der letzte Schritt auf diesem Wege. Die germanische Heldendichtung kennt — mit ganz wenigen Ausnahmen — kein in Worte gefaßtes völkisches Selbstgefühl[2]: in der hier bezeichneten Entwicklung aber wirkt unverkennbar die Anschauung, daß die Hunnen keine ebenbürtigen Gegner sind.

Damit hängt nun ein zweiter, stärkerer Antrieb zu dieser Neugestaltung zusammen. Gunthers Bezwingung sollte einem Größeren als Blœdel zufallen, und: sie sollte in das Schlußbild der Kämpfe hineingezogen werden. Mit anderen Worten: Dietrich sollte die zwei größten Burgunden, als letzte der ganzen Schar, überwinden.

Der dichterische, bildhafte Gewinn dabei leuchtet unmittelbar ein. Wir erinnern uns: in dem ältesten Liede (Stufe 1) folgte es Schlag auf Schlag: Gunther wird gefesselt — Hagen tut Wunder der Tapferkeit und gerät dann ebenfalls in Bande. Die weitere Entwicklung, auf

---

[1] Henning, Nibelungenstudien S. 185 f.

[2] Verf., Berliner Sitzungsber. 1909, S. 926 ff.

Stufe 3, befestigte eine breite zeitliche Kluft zwischen Gunthers und Hagens Erliegen. All die Kämpfe: Gernot gegen Blœdel, Hagen gegen Iring, Giselher gegen Rüedeger, Dietrich gegen Folker, Hildebrand gegen Gernot-Giselher, schoben sich dazwischen. Daß man Hagens Beugung jederzeit für den Schluß aufhob, war geradezu notwendig. Aber — warum ließ man Gunthers Unterliegen so weit vorn, obwohl es gewiß ein Übelstand war, daß der Burgundenherrscher als erster von allen benannten Helden aus dem Sehfeld verschwand?

Der Hinweis darauf, daß Gunther — wohl seit Stufe 2 — kleiner, minder heldenhaft gefaßt wurde, genügt nicht zur Erklärung. Er blieb doch der König. Den wahren Grund sehe ich darin. Seit Stufe 2 war Blœdel, der Hunne, Gunthers Bezwinger; bis zuletzt aber hielt man ja an der steigernden Folge fest: man kämpft zuerst gegen die Hunnen, dann gegen die Thüringer (und Dänen), dann gegen Rüedeger, dann gegen Dietrich[1]. Solange also Blœdel diese Rolle behielt, zog er Gunthers Unterliegen nach vorn. Dies stützt zugleich meine Vermutung, daß Blœdel auf Stufe 2 und 3 diese Rolle hatte.

Hier griff erst unser letzter Epiker ein und trug Gunther über die zeitliche Kluft hinweg an die Seite Hagens, in die schließende Kampfszene. Darum gab er der Laufbahn Blœdels die neue Wendung, ließ ihn im ersten Akt, durch den neugeschaffenen Dankwart, fallen.

Jetzt stand wieder, wie auf der Urstufe, die Bezwingung der beiden burgundischen Haupthelden dicht nebeneinander. Die vielen Kämpfe, die inzwischen zugewachsen waren, gingen voran als Unterbau, und die Krönung war jener Urbestand der Sage: Gunthers und Hagens Fesselung.

Mag sein, daß die Erinnerung an das Schlußbild der Walthersage, den »Dreiheldenkampf« Walthers, Gunthers, Hagens, unsern Epiker mitbestimmte, seinem Dietrich von Bern den zweiten Gegner gegenüberzustellen[2]. Aber der Hauptgrund war offenbar jene doppelte Erwägung: König Gunther sollte durch den vornehmsten der Gegner und auf dem Gipfel der Handlung bezwungen werden.

---

[1] Vgl. Wilmanns, Untergang S. 32. Die nämliche Reihenfolge in umgekehrter Ordnung verwendet der NL-Dichter ganz geschickt in seiner neugeschaffenen Turnierszene: 1811 (A) *die Dietriches recken*, 1813 *die Rüedegeres man*, 1815 *die von Düringen unt von Tenemarken*, 1817 Blœdelin und die anderen Hunnenführer.

[2] Roethe, Nibelungias S. 677 f.; Droege, Zeitschr. f. deutsches Altertum 52, 229. Aber wohlgemerkt, das ist Neuerung unsres Nibelungendichters gegenüber dem ältern Epos. Den Dreiheldenkampf hat gewiß nicht bloß der lateinische Waltharius dargeboten, sondern auch die von ihm abweichende deutsche Liedtradition; vielleicht stand er sogar noch im mittelhochdeutschen Waltherepos (s. Vogt, Breslauer Festschrift S. 494). Aus dem englischen Waldere hat man sogar auf zwei getrennte Einzelkämpfe Walthers, erst mit Hagen, dann mit Gunther, geschlossen (Brandl, Pauls Grundriß 2, 47), und dies stände dann ja der Neubildung des NL am allernächsten!

Daß er erst nach Hagen an die Reihe kommt, abweichend von allen bisherigen Stufen, erschien dem Gefühl des Nibelungendichters nötig: er konnte den Dienstmann nicht zuschauen lassen, wie der Herr überwältigt und geknebelt wird; auch uns fiele es schwer, den Hagen des NL in solcher Lage zu denken! Aber es ergab einen dichterischen Nachteil: nach dem Ringen mit Hagen muß das mit Gunther als Abstieg wirken[1] — so eifrig sich der Epiker bemüht, uns mit einem Male an Gunther als großen Kriegsmann glauben zu machen. Und dieser Zusammenhang: die beiden kampfmüden Fürsten, die sich dem noch ungeschwächten Dietrich willig zum Einzelkampf hergeben; auf der andern Seite Hildebrand als Zuschauer: — dem haftet etwas an von Ritterspiel gegenüber dem ehernen Ernst der vorangegangenen Kämpfe. Im ältern Epos ist dieser ganze Auftritt gewachsener: Hildebrand hat mit Giselher zu schaffen, für Dietrich bleibt nur noch Hagen.

So wurde ein Preis bezahlt für die große Neuerung. Auch dies fällt am NL auf, daß Gunther keinen einzigen der benannten Helden zur Strecke bringt. Das Schlagwort von dem »repräsentativen König« sollte man nicht überanstrengen; Gunther ist doch kein Artus oder Karl, kein Etzel oder Wladimir, auch kein Rolf Kraki. Als seine Fesselung noch an den Anfang der Dinge fiel (Stufe 1—3), konnte der Mangel nicht stören: jetzt, wo sie ans Ende verpflanzt war, öffnete sich eine leere Strecke, für die der Epiker füglich einen benannten Sieg erfunden hätte!

10.

Es bleibt noch der vorletzte Auftritt des Nibelungenlieds: Gunthers und Hagens Hinrichtung durch Kriemhild.

Hagen ist auf der Bühne, Gunther dahinter. Kriemhild stellt an Hagen die Frage nach dem Hortversteck. Ihn, den Mörder ihres Geliebten, ließe sie lebend heim, wenn sie nur das Gold hätte. Aber Hagen muß schweigen, solange einer seiner Herren am Leben ist; das beschworene Hortgeheimnis . . . Da weist ihm Kriemhild den Kopf seines letzten Herrn vor. Jetzt könnte er reden. Aber jetzt schweigt er erst recht: *Den scaz, den weiz nu niemen* . . . . . Da enthauptet ihn Kriemhild.

---

[1] Roethe, a. a. O. S. 678. Die umgekehrte Reihenfolge in der Klage 1947 ff. (Lachmann) weiß ich nur als gelegentlichen Einfall oder Gedächtnisfehler zu deuten. Selbst wenn man der Klage Zugang zu ältern Nibelungenquellen zutraut —: was wäre das für eine Dichtung gewesen, die zwar schon Dietrich zum Bezwinger Gunthers machte (diese einschneidende Neuerung unseres NL!), aber doch noch Hagen an das Ende tat?

Das ragt wie altes Urgestein in diese Ritterdichtung herein. fremd und hart, übermenschlich, von unserm Epiker mehr angestaunt als durchempfunden.

Daß es Urgestein ist, bestätigt das alte Atlilied der Edda. Schon da ist dieser Auftritt der Gipfel. Die Übereinstimmung mit dem NL erstreckt sich auf das ganze geistige Gerüste. Die Stelle der rächenden Kriemhild hat naturgemäß Etzel mit seinen Hunnen inne; außerdem ist im Liede Gunther die Vordergrunds-, Hagen die Hintergrundsfigur. Dies ist das Ursprüngliche, Urfränkische: der Burgundenkönig Gundihari ist noch der »Held« der Burgundensage. Die Umdrehung geschah auf Stufe 2 und liegt in der ganzen Linie der altbaiwarischen Umformung: als man den Burgundenfall als Rache für Sigfrids Mord nahm, stieg der Mörder, Hagen, zur Hauptperson auf[1].

So würde man denn nicht bezweifeln, daß diese Kernszene, die auf Stufe 1 und 4 vorliegt, ganz ebenso auf Stufe 2 und 3 vorlag. Denn daß das NL sie aus der Eddadichtung erborgt hätte, diese Durchkreuzung des legitimen Stammbaums wäre eine ungeheuerliche Verlegenheitsannahme ohne haltbare Stützen anderwärts[2]. Und daß umgekehrt das alte Atlilied die Horterfragung aus jüngerer deutscher Dichtung — also doch wohl aus Stufe 4, unserm NL! — geholt hätte, kann nicht im Ernst erwogen werden[3]. Wir müssen dem ältern deutschen Epos diesen Auftritt zuweisen.

Diesem Schluß haben sich verschiedene Forscher entzogen — weil die Niflunga saga nichts davon kennt[4].

---

[1] Das jüngere Atlilied der Edda, das den Hagen in den Vordergrund stellt, kann nicht, vermöge dieses Einklangs mit den deutschen Quellen, beweisen, daß Hagen in der Urform der Protagonist war (Boer, Untersuchungen 3, 27). Der grönländische Dichter hätte von sich aus darauf kommen können, zur Abwechslung einmal den zweiten Helden heller zu beleuchten; geht doch sein Lied bewußt darauf aus, dem Stoff neue Seiten abzugewinnen. Doch ist es recht wohl möglich, daß er auch hierin, wie in anderem, von deutscher Dichtung neuerlich berührt worden ist (Neckel, Beitr. z. Edd., S. 247 f.). Was übrigens den Tod der zwei Helden betrifft, so schimmert durch seine Neugestaltung der Verlauf des ältern Atlilieds noch kenntlich durch.

[2] Man sehe, welch gewundene Pfade Boers Erklärung wandeln muß: Untersuchungen 3, 25—32!

[3] G. Holz, Der Sagenkreis der Nibelungen[2] (1914) S. 99. Holz meint, ursprünglich seien wohl die Burgunden im Saalbrand umgekommen, und dies habe den Schluß gebildet. Man versuche, sich dies als Lied gegenständlich zu machen! »Der erzwungene Tod in den Flammen«, sagt Neckel a. a. O. S. 180, »ist zwar ein Thema für einen späten Prosaroman wie die Njála, aber nicht für ein heidnisches Heldenlied, das die Gesinnung in der Tat aufblitzen, nicht im Dulden durchschimmern läßt«.

[4] Boer, a. a. O.; Droege, Zeitschr. f. deutsches Altertum 48, 481; Polak, ebd. 54, 457. 466. Wilmanns sah das richtige (Untergang S. 5 f. 10), hat aber nicht die ganze Folgerung gezogen, z. T. deshalb, weil ihm Iring als der ältere Bezwinger Hagens galt, was schon Seemüller zurückgewiesen hat (Anz. f. d. Alt. 30, 18).

Nach der Nifl. s. ist Gunther gleich schon nach seiner frühen Fesselung, am ersten Kampftage, im Schlangenhof umgekommen. Als Hagen bezwungen ist, lebt keiner mehr der Könige: dieser ganzen Horterfragung sind die Voraussetzungen geraubt. Hagen endet nicht durch Kriemhild; er stirbt tags darauf an seinen Wunden. Zugleich ist Kriemhildens Hinrichtung — hier noch durch Dietrich — ganz anders begründet.

Man brauchte sich dadurch nicht beirren zu lassen. Die Nifl. s. folgt hier nicht dem älteren Epos; sie bringt eine niederdeutsche Umgestaltung. Die Gründe und der Verlauf dieser Umgestaltung lassen sich befriedigend aufdecken.

Das niederdeutsche Burgundenlied — wohl dasselbe, das den Osid beisteuerte — hatte den ursprünglichen Zug bewahrt: Gunther endet in der Schlangengrube. Eine Soester Ortsbindung hatte das noch gefestigt. So trugen es die sächsischen Erzähler in das ältere oberdeutsche Epos hinein. Damit aber war Gunther untauglich geworden zur Hintergrundsfigur bei der Horterfragung — selbst wenn man seinen Tod hinausschob bis nach Hagens Bezwingung. Er endete nun durch den Schlangenbiß, nicht durch Ausschneiden des Herzens oder Abschlagen des Kopfes auf Geheiß der Schwester.

Ein zweiter Grund zur Neuerung war dieser. Niederdeutsche Sage kannte Etzel noch als den hortgierigen Verräter. Daher berichtete sie seine Strafe: nicht mehr in der uralten Form, daß Kriemhild ihn erdolcht, sondern in der neuen Fassung: der todwunde Hagen zeugt einen Rächer; dieser, herangewachsen, lockt den gierigen Etzel in die Höhle des Nibelungenhorts und läßt ihn dort verhungern. Dieser nd. Sage folgt unsere Nifl. s. Also Hagen durfte nicht durch Kriemhild geköpft werden: er mußte noch eine Nacht am Leben bleiben zur Erzeugung des Rächers.

In Anpassung an diese niederdeutsche Sagenform haben die Gewährsmänner der Nifl. s. die Horterfragungsszene aus dem älteren Epos beseitigt.

Aber — wie war nun die Hinrichtung der Kriemhild zu begründen? — Auf diesen Zug wollten die sächsischen Erzähler nicht verzichten. Im oberdeutschen Epos wuchs diese furchtbare Tat heraus aus dem Doppelmorde, den Kriemhild übt an Gunther und Hagen, wie im NL. Aber nun hatten die Sachsen der Heldin diesen Doppelmord abgenommen! . . . Sie fühlten, daß ein starkes Motiv als Ersatz eintreten müsse. So kamen sie auf die rohe Erfindung: nach Hagens Bewältigung betritt Kriemhild den Kampfplatz und stößt einen Feuerbrand ihren Brüdern in den Mund, dem toten Gernot und dem

noch atmenden Jung Giselher. Diese Greueltat bewegt Dietrich, sie entzweizuhauen.

Mehrere Forscher haben den Ursprünglichkeitswert dieses Hergangs überschätzt. Sie haben ihn als eine kernige Altertümlichkeit dem früheren Nibelungenot-Gedicht zugewiesen, und damit er sich in dessen Zusammenhang füge, haben sie weitergedichtet: nicht Gernot und Giselher, sondern der soeben von Dietrich überwundene Hagen, allenfalls auch der schon getötete Gunther, werden mit dem brennenden Scheite heimgesucht[1]. Diese Weiterdichtung übertrumpft in der Tat die Leistung jener Sachsen des 13. Jahrhunderts; denn es ist immerhin zweierlei, einen tot oder halbtot Hingestreckten so zu mißhandeln — und einem gefesselten, aufrechten Helden mit solchem Mordwerkzeug den Garaus zu machen!

Aus dem Gesagten folgt, daß man damit eine falsche Fährte betreten hat. Diese Feuerbrandgeschichte stammt nicht aus der Vorstufe des NL, sondern gehört zusammen mit den Motiven, die den Inhalt des ältern Epos zurechtbiegen nach abweichenden niederdeutschen Sagenberichten. Sie ist eine Verlegenheitsgeburt: dem eindrucksvollen Schlußbild der hochdeutschen Dichtung, Kriemhildens Tod, war der Boden entzogen; man half nach, so gut man konnte. Ob diese Notbrücke je in Verse gefaßt war, erscheint zweifelhaft; das hängt ab von der allgemeinen Frage, ob der mit sächsischen Elementen versetzte Epeninhalt eine geschlossene Dichtung war oder eine Nacherzählung in Prosa. Im besten Falle ist das brennende Scheit eine Eingebung niedrigster Spielmannsphantasie, und man vergriffe sich, wollte man nach ihm die ethische Haltung jenes Werkes bemessen, dem unser NL so vieles von seinem besten verdankt.

So hindert nichts mehr die nächstliegende Annahme: in der Horterfragungsszene hat die Kette der Überlieferung unzerrissen gereicht von der ersten bis zur vierten Stufe. Diese kühne Erfindung der Völkerwanderungszeit hat durch alle Jahrhunderte hin starken Eindruck gemacht. Noch unser höfischer Spielmann um 1200 hat sie mit schonender Hand angefaßt. Eine seiner kleinen Neuerungen ist die, daß er in Hagens letztem Ausspruch den Rhein als Versteck wegläßt: er hatte diesen, in dem Atliliede so wirksamen Zug nach vorn verpflanzt, in das erste Hortgespräch zwischen Kriemhild und Hagen (1680 A):

den hiezen mine herren versenken in den Rin:
da muoz er wærliche unz an daz jungeste sin.

---

[1] Wilmanns, Untergang S. 10; Boer, Arkiv 20, 198 ff., Untersuchungen 1, 277. 279; Polak, Zeitschr. f. deutsches Altertum 54, 457–466.

Man erkennt noch, wie diese letzten Worte von Rechts wegen in der Schlußszene, an der Schwelle des Todes, gesprochen werden sollten: erst dann steht es für Hagen fest, daß keine Hand mehr an den Hort rühren wird[1].

Freiwillig, aus rein dichterischer Erwägung, hat auch die in der Nifl. s. ausmündende sächsische Fassung die alte Giebelzierde nicht preisgegeben. Diese Erzähler und Dichter standen unter dem Druck widersprechender Sagenzüge: Gunthers Tod im Schlangenturm einigte sich nicht mit der Horterfragung im hd. Epos, wobei Hagen als letzter endet; und die Zeugung des Rächers durch Hagen mußte schon innerhalb des niederdeutschen Sagenbodens jenen Auftritt entwurzeln. Diese niederdeutsche Neudichtung mit dem rächenden Hagensohn erweist der grönländische Atlidichter wohl fürs 11. Jahrhundert. Nicht später muß dem sächsischen Burgundenlied die Horterfragung entschwunden sein — wofern es sich der Neudichtung anpaßte oder diese im Rahmen des Liedes selbst erwachsen war. Sachliche Widersprüche also und die Lockung greifbarer Motive waren es, die den leidenschaftlichen Redeauftritt löschten. Wie entseelt ohne ihn der Schluß des Burgundenuntergangs wirkt, zeigt uns die Niflunga saga.

[1] Man sehe Strophe 1077, 4; 1080 (A). Neckels Annahme (a.a.O. S. 153), in dem alten Atliliede sei die Rheingoldstrophe eine sachlich störende Zutat, beruht auf der Deutung, das Versenken des Hortes sei ein Preisgeben desselben. Aber es war als ein bergendes Verstecken gedacht; so verstehn es Atlakvida, Snorri und Nibelungenlied.

Die Beugungserscheinungen an vielen unregelmäßig verteilten Teilchen.

Von Prof. Dr. M. v. Laue
in Frankfurt a. M.

(Vorgelegt von Hrn. Planck am 3. Dezember 1914 [s. oben S. 1091].)

I. Literaturübersicht.

Das Thema unserer Untersuchung ist ein altes; in vielen Abhandlungen und in jedem Lehrbuch der Optik wird es behandelt. Dennoch läßt sich nicht sagen, daß es erschöpft wäre; denn Versuch und Theorie sind an dieser Stelle bisher aneinander vorübergegangen, ohne voneinander recht Kenntnis zu nehmen. Beginnen wir darum mit einer Übersicht über die vorliegende Literatur.

Es mögen auf einem in allen Abmessungen gegen die Wellenlänge großen Flächenstück f, dessen Ebene wir zur xy-Ebene wählen, viele (N) gleiche und gleichgerichtete beugende Teilchen liegen. Es beleuchte sie eine aus der Richtung mit dem Richtungskosinus $\alpha_0, \beta_0, \gamma_0$ auftreffende ebene Welle. Ist dann

$$\Psi(\alpha, \beta)\frac{e^{-ikR}}{R}$$

die Darstellung der Welle (etwa gleich der einen Komponente des Hertzschen Vektors), welche ein einzelnes Teilchen mit dem Koordinaten $x = y = 0$ im großen Abstand R und der Richtung mit den Richtungskosinus α, β, γ ergibt, so ist die Welle, welche von den N Teilchen herrührt, dargestellt durch

$$\Psi(\alpha, \beta)\frac{e^{-ikR}}{R}\sum_{1}^{N}{}_{n}\, e^{ik[x_n(\alpha-\alpha_0)+y_n(\beta-\beta_0)]} \tag{1}$$

und ihre Intensität ist bis auf einen konstanten Faktor

$$J = |\Psi|^2 \sum_{1}^{N}{}_{n} \sum_{1}^{N}{}_{m}\, e^{ik[(x_n-x_m)(\alpha-\alpha_0)+(y_n-y_m)(\beta-\beta_0)]}. \tag{2}$$

Greift man aus dieser Summe die Glieder mit gleichem Index heraus, so findet man:

$$J = |\Psi|^2 \left\{ N + 2 \sum_1^N {}_n \sum_{n+1}^N {}_m \cos k[(x_n - x_m)(\alpha - \alpha_0) + (y_n - y_m)(\beta - \beta_0)] \right\}. \quad (3)$$

In vielen und auch in sonst guten Darstellungen findet man nun den Schluß: »Da in (3) jeder der Kosinus mit der gleichen Wahrscheinlichkeit positiv oder negativ ist, ist die Summe über alle diese Kosinus, deren Anzahl $\frac{1}{2} N(N-1)$ beträgt, Null, also $J = N|\Psi|^2$, d. h. die Beugungsfigur ist die des einzelnen Teilchens, nur in der Intensität N mal verstärkt.«

Die Unzulässigkeit dieses Schlusses zeigt der Vergleich mit einem Satze der Wahrscheinlichkeitsrechnung. Bildet man die Summe S von N^2 Summanden, deren jeder unabhängig von den anderen mit gleicher Wahrscheinlichkeit $+1$ oder -1 ist, und macht man diese Probe recht häufig, so wird man zwar jedesmal einen anderen Wert für S finden, und der über alle Proben gebildete Mittelwert $\overline{S}$ ist Null; jedoch ist

$$\sqrt{\overline{S^2}} = N.$$

Obwohl nun in der Summe in (3) die Werte der $\frac{1}{2} N(N-1)$ Summanden nicht auf ± 1 beschränkt sind, und diese Summanden auch nicht voneinander unabhängig sind (sie sind ja durch die $2N$ Koordinaten x_n und y_n bestimmt), so ist danach doch für den Wert dieser Summe die Größenordnung von N zu erwarten. Es ist also durchaus falsch, die Summe dem Summanden N gegenüber zu vernachlässigen.

Dies hat Lord RAYLEIGH[1] scharf hervorgehoben, welcher auch das wichtige Ergebnis abgeleitet hat, daß sich für die Intensität überhaupt keine andere Angabe machen läßt, als daß man jedem Wert eine bestimmte Wahrscheinlichkeit zuschreibt. Die Wahrscheinlichkeit, daß J in den Grenzen J und $J + dJ$ liegt, ist nach ihm

$$W(J)\,dJ = \frac{1}{N|\Psi|^2} e^{-\frac{J}{N|\Psi|^2}} dJ \quad (4)$$

(vgl. § 3). Das Maximum von W liegt somit bei $J = 0$, der Mittelwert von J ist

$$\overline{J} = \int_0^\infty J\,W(J)\,dJ = N|\Psi|^2, \quad (5)$$

[1] Lord RAYLEIGH, Scient. Pap. III, S. 52 f. Theory of sound I. London 1894 § 42 a.

also zu N proportional; aber die mittlere relative Schwankung ist

$$\frac{1}{\bar{J}}\sqrt{\overline{(J-\bar{J})^2}} = \frac{1}{\bar{J}}\left[\int_0^\infty (J-\bar{J})^2\, W(J)\, dJ\right]^{\frac{1}{2}} = 1, \qquad (5a)$$

also von der Zahl N der beugenden Teilchen unabhängig. Wenn somit nur N eine große Zahl ist, wird man unabhängig von ihrem besonderen Wert immer Beugungsfiguren von derselben Art erhalten. Die Intensität in ihnen läßt sich als Produkt aus 2 Faktoren darstellen; der eine, $|\Psi|^2$, hängt nur von der Beschaffenheit des einzelnen Teilchens, der andere

$$\sum_1^N {}_n \sum_1^N {}_m \, e^{ik[(x_n - x_m)(\alpha - \alpha_0) + (y_n - y_m)(\beta - \beta_0)]}$$

nur von der Anordnung der Teilchen ab. Letzterer ist starken, nur durch das angegebene Wahrscheinlichkeitsgesetz beherrschten Schwankungen unterworfen.

Trotz seiner durchaus einleuchtenden Theorie glaubt Rayleigh[1] nicht an die Möglichkeit, die Schwankungen zu beobachten. Als Gründe dafür führt er an: 1. Die Ausdehnung der Lichtquelle; denn wenn viele nahezu gleich gerichtete inkohärente Wellen auf die beugenden Teilchen fallen, superponieren sich viele unabhängige Beugungsfiguren, und man sieht nur den Mittelwert $\bar{J} = N|\Psi|^2$.[2] 2. Die spektrale Inhomogenität. 3. Da Rayleigh a. a. O. an Teilchen denkt, welche frei in der Luft schweben, muß er deren Bewegung hier mitberücksichtigen; diese wird eine rasche zeitliche Aufeinanderfolge aller möglichen, mit der Teilchenzahl N verträglichen Beugungsbilder zur Folge haben, so daß wieder nur der Mittelwert $\bar{J}$ zur Beobachtung kommt.

Der letzte dieser Gründe fällt fort, wenn die Teilchen fest auf einer Glasplatte ruhen. Die spektrale Inhomogenität läßt sich weitgehend herabsetzen und außerdem in ihrer Wirkung auf das Beugungsbild leicht übersehen; gilt doch der Satz, daß bei allen Fraunhoferschen Beugungserscheinungen die Abmessungen des Beugungsbildes ohne sonstige Veränderung proportional zur Wellenlänge wachsen. Und die Ausdehnung der Lichtquelle muß sich so weit herabsetzen lassen, daß sie nicht mehr stört. Im Winter 1910—1911 wiederholte ich deswegen im Institut für theoretische Physik der Universität München[3] den alten Fraunhoferschen Versuch, bei welchem eine Glasplatte mit Lykopodiumteilchen bestreut ist, und die im Unendlichen liegende Beu-

---

[1] Lord Rayleigh, Scient. Pap. III, S. 99.

[2] Die Winkelausdehnung der Lichtquelle ist hier stillschweigend als klein vorausgesetzt gegen die Winkelausdehnung der Beugungsfigur des einzelnen Teilchens.

[3] Für die freundliche Überlassung der erforderlichen Hilfsmittel möchte ich Hrn. Prof. Sommerfeld an dieser Stelle meinen verbindlichsten Dank aussprechen.

gungsfigur dieser Teilchen beobachtet wird (§ 2). Deren photographische Aufnahmen (Fig. 2) zeigten die Schwankungen auf das auffälligste.

Erst nachträglich machte mich Hr. Prof. R. Emden in München, dem ich übrigens dafür an dieser Stelle meinen Dank aussprechen möchte, darauf aufmerksam, daß die Granulation des Beugungsbildes schon von K. Exner beobachtet und durch die Unregelmäßigkeit in der Anordnung der beugenden Teilchen erklärt wurde[1]. (Vgl. den Schluß von § 2.) Exner gibt auch an, daß dieselben Granulationen auch bei den Queteletschen Ringen auftreten, die an bestäubten Glasspiegeln beobachtet werden. Aber eine genauere Theorie der Granulation, wie wir sie in den §§ 3 und 4 geben wollen, hat er sicher nicht gehabt; das beweist auf das schlagendste ein Irrtum, welcher ihm in seinen Angaben unterlaufen ist; wir kommen in § 2 darauf zurück.

II. Der Versuch.

Für den in der Einleitung erwähnten Versuch kommt es offenbar auf eine geringe Winkelausdehnung der Lichtquelle an. Daß man diese in dem Maße herabsetzen kann, daß sie ganz ohne Einfluß ist, zeigt die folgende Überlegung. In Fig. 1 sei die Strecke $AB = l$ ein Querschnitt der Fläche f, welche die beugenden Teilchen trägt. Eine senkrecht auffallende ebene Welle trifft alle Teilchen mit der gleichen Phase, ist hingegen der Einfallswinkel ϑ von Null verschieden, so besteht für die Teilchen bei A und B eine Phasendifferenz von $\frac{l \sin \vartheta}{\lambda}$. Eine Veränderung des Einfallswinkels wird einmal den Mittelpunkt des Beugungsbildes um den gleichen Winkel verschieben, doch wird dies ziemlich belanglos sein, wenn ϑ gegen die Winkelausdehnung des Beugungsbildes klein ist. Trotzdem kann sie die Intensitätsschwankung im Beugungsbild wesentlich beeinflussen, da die Summe (1) sich wegen der Beziehungen

Fig. 1.

$$\alpha_0 = \sin \vartheta \cos \varphi , \qquad \beta_0 = \sin \vartheta \sin \varphi$$

in allen Summanden verändert. Diese Veränderung wird aber unbeträchtlich, wenn

[1] K. Exner, Wiener Ber. **76**, 522, 1877; Wied. Ann. **9**, 239, 1880. Die später wörtlich angeführte Stelle steht in der zweiten Veröffentlichung auf Seite 257.

$$\vartheta << \frac{\lambda}{l} \qquad (6)$$

ist, da die besprochene Phasendifferenz dann klein gegen π wird, somit völlig vernachlässigt werden kann. Ist also für alle Winkel ϑ, unter welchen die Abmessungen der Lichtquelle von den beugenden Teilchen aus erscheinen, die Bedingung (6) erfüllt, so muß das Beugungsbild genau so ausfallen wie bei einer punktförmigen Lichtquelle.

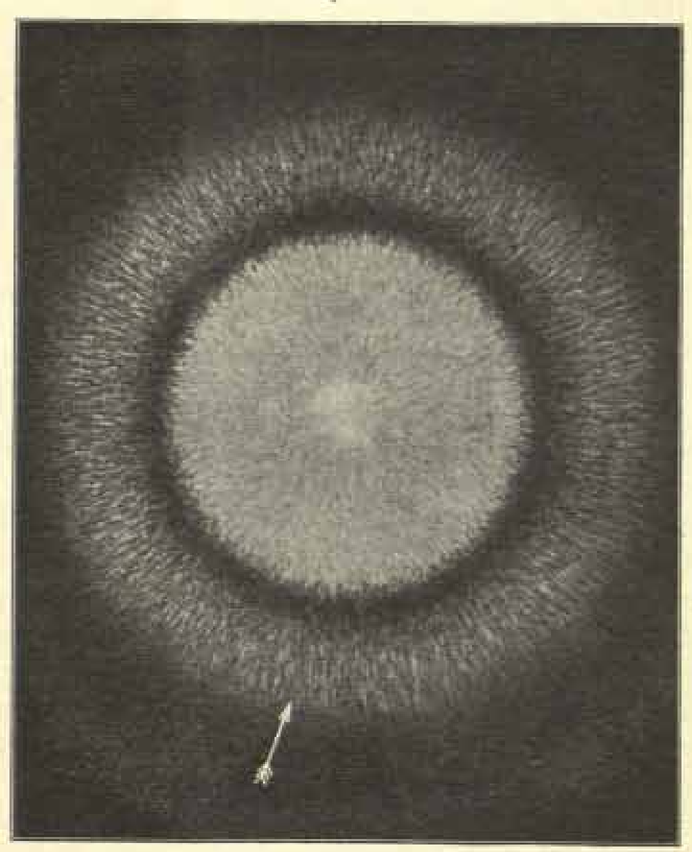
Infolgedessen wurde eine Lichtquelle von 0.1 cm Durchmesser (ein kreisförmiges Loch in einem Metallschirm, welcher von hinten beleuchtet wurde) in 16 m Entfernung von einer photographischen Kamera aufgestellt, deren Objektiv ein Zeißscher Tessar 1/6.5 mit 25 cm Brennweite war. Es wurde scharf auf die Lichtquelle eingestellt und dann unmittelbar vor das Objektiv eine vor dem Fernrohr auf optische Fehlerfreiheit geprüfte Glasplatte mit Lykopodiumpulver bestreut gestellt. Mit der Irisblende wurde ein Kreis von 0.8 cm Durchmesser aus der bestrahlten Fläche ausgeblendet. Wesentlich war die Benutzung von Isolarplatten, da sonst die Lichthofbildung die ganze Aufnahme unbrauchbar machte. Zur Beleuchtung diente eine Bogenlampe, deren Licht, durch ein Prisma spektral zerlegt, auf das schon erwähnte Loch fiel. Es wurde auf diese Weise blaues Licht von etwa 4.2 bis $4.3 \cdot 10^{-5}$ cm Wellenlänge ausgesondert. Da nach diesen Angaben der Winkel, unter welchem der Durchmesser der Lichtquelle von der Fläche f aus gesehen wird, $0.6 \cdot 10^{-4}$ ist, während $\frac{\lambda}{l} = 0.5 \cdot 10^{-4}$ ist, so ist die Bedingung (6) keineswegs erfüllt. Um die Expositionszeit, welche schon unter den angegebenen Verhältnissen nach einigen Stunden zählte, nicht noch weiter zu steigern, mußte auf deren genaue Erfüllung verzichtet werden. Trotzdem zeigt das Beugungsbild, welches in Fig. 2 in etwa vierfacher linearer Vergrößerung wiedergegeben ist, auf das deutlichste Schwankungen, und zwar hat es auffälligerweise eine ausgesprochen radiale Faserung.

Der Versuch wurde oft unter verschiedenartigen Bedingungen wiederholt und lieferte trotzdem stets das gleiche Resultat. Veränderungen der Teilchenzahl im Verhältnis 1 : 3 machte nichts aus. (Diese Teilchenzahlen wurden so bestimmt, daß man ein Mikroskop auf willkürlich ausgewählte Stellen des bestäubten Glases richtete, die Teilchen im Gesichtsfeld zählte und aus dem Mittelwert dieser Zählungen sowie der bekannten Fläche des Gesichtsfeldes und der Größe der Fläche f die Gesamtzahl ermittelte; diese lag fast immer zwischen 10000 und 100000.) Es zeigte sich sogar, daß man die Bedingung (6) noch viel erheblicher verletzen kann, ohne daß die Schwankungen verschwinden, wenngleich sie sich dabei allmählich verwischen.

Als so die wesentlichen Züge der Erscheinung bekannt waren, fand sich bald, daß man sie viel bequemer mit dem Auge wahrnehmen kann, ja daß sie sich geradezu der Beobachtung aufdrängt. Man hat oft Gelegenheit, durch eine bestäubte oder mit Wassertröpfchen oder Eiskriställchen beschlagene Fensterscheibe eine Lichtquelle von kleiner Winkelausdehnung, etwa den Krater eines Lichtbogens, zu sehen. Immer findet man da die kennzeichnende, strahlige, radiale Struktur, wenn man die Scheibe dicht an das Auge heranbringt, und



Fig. 2.



zwar häufig auf viel größere Winkelausdehnung als in der Figur 2. Die Strahlen werden um so länger, je weiter man sich dabei vom Mittelpunkt des Beugungsbildes (dem Ort des geometrisch-optischen Bildes) entfernt. Besonders schön treten sie an matten Glasscheiben auf. Der Einfluß der Ausdehnung der Lichtquelle tritt dabei deutlich hervor, und man überzeugt sich im Laboratorium leicht, daß sie von der spektralen Breite des benutzten Lichtes nicht merklich abhängig ist.

Man muß sich bei derartigen Beobachtungen freilich vor einem Irrtum schützen. Das Auge selbst liefert nämlich schon derartige

Strahlen, welche vom Lichtpunkt ausgehen. Aber einmal kommen diese an Zahl und Helligkeit gegen die wirkliche Erscheinung selten in Betracht; sodann sind sie leicht von ihr zu trennen, indem man das Glas mit den beugenden Teilchen um die Verbindungslinie der Lichtquelle mit dem Auge dreht. Das Beugungsbild mit seiner strahligen Struktur dreht sich dabei mit, während die vom Auge herrührenden Strahlen stehenbleiben. Bei translatorischer Verschiebung der Platte wechseln die Strahlen im Beugungsbild schnell und unregelmäßig, da dabei immer neue Anordnungen von Teilchen vors Auge kommen.

In den zuletzt besprochenen Fällen sind die Teilchen von verschiedenster Form und Größe und liegen wirr durcheinander. Die Beobachtung zeigt also, daß ihre Gleichheit keine notwendige Bedingung für den kennzeichnenden strahligen Bau des Beugungsbildes ist. Deswegen wollen wir die Theorie sogleich auf Teilchen von verschiedener Größe, Gestalt und Beschaffenheit erweitern, welche nach Zufall über die Fläche f verstreut und nach Zufall gerichtet sind.

Zuvor aber wollen wir noch zu den in § 1 erwähnten Angaben K. Exners Stellung nehmen; er schreibt:

»Betrachtet man das Phänomen Fraunhoferscher Ringe, welches eine vor das Objektiv eines auf einen Lichtpunkt eingestellten Fernrohres gebrachte, mit Bärlappsamen bestäubte Glasplatte gibt, mit einiger Aufmerksamkeit, so bemerkt man eine, bezüglich des Bildes der Lichtquelle radiale Faserung der erhellten Teile des Gesichtsfeldes. Dreht man die Platte um die Achse des Fernrohres, so findet eine Rotation der Faserung um das Bild der Lichtquelle statt. Wendet man homogenes Licht an, so verwandelt sich die Faserung in eine Granulation. Verschiebt man die Platte langsam vor dem Objektiv, so gerät diese Granulation in lebhafte Bewegung, indem die alten Maxima der Intensität verschwinden und sich neue Maxima an anderen Stellen bilden. Der Übergang von einem hellen Fraunhoferschen Ring zu einem folgenden dunklen besteht also keineswegs in einer kontinuierlichen Abnahme der Intensität; es geht vielmehr die Intensität durch zahlreiche, sehr nahe aneinanderliegende, unregelmäßig verteilte, der Lage nach von der zufälligen Verteilung der Staubteilchen abhängige Maxima und Minima. . . . . .«

Das stimmt alles mit unserem Ergebnis überein, bis auf die Behauptung, daß die radiale Faserung nur der spektralen Inhomogenität des Lichtes ihren Ursprung verdankt. In diesem Punkte aber müssen wir, auch abgesehen von der später zu entwickelnden Theorie, rein auf Grund unserer Versuche, Exner widersprechen. Unsere Gründe sind:

1. Der schon erwähnte Versuch, bei dem man mit dem Auge durch eine matte Glasscheibe nach einem hinreichend kleinen Loch als Lichtquelle blickt. Beleuchtet man diese mit dem Licht einer Bogenlampe, welches man vorher durch ein Prisma roh spektral zerlegt hat, so kann man leicht ohne sonstige Veränderung die spektrale Breite des Lichtes verändern, indem man an dem Spalt, der sich noch vor dem Prisma befindet, die Breite ändert. Man beobachtet dabei keine Veränderung in der Faserung.

2. Bei der photographischen Aufnahme, deren Ergebnis Fig. 2 ist, war die spektrale Breite des Lichtes nach den obigen Angaben etwa $^1/_{42}$ der Wellenlänge. Wäre diese der einzige Grund für die radiale Faserung, so müßte wegen der schon erwähnten Proportionalität zwischen der Wellenlänge und den Abmessungen der Beugungsfigur die Länge einer Faser $^1/_{42}$ ihres Abstandes vom Mittelpunkt der Beugungsfigur betragen; es gibt aber viele erheblich längere Fasern. Ebenso müßten alle Fasern im gleichen Abstand vom Mittelpunkt die gleiche Länge haben, was durchaus nicht der Fall ist.

3. Wäre die spektrale Inhomogenität der einzige Grund für die Faserung, so müßten die Fasern genau radial liegen. Fig. 2 aber zeigt, daß dies keineswegs der Fall ist; man findet in ihr Fälle, in welchen zwei nahe benachbarte Fasern sich mit wachsendem Abstand vom Mittelpunkt einander deutlich nähern, in der Art, wie es übertrieben in Fig. 3 gezeichnet ist. Der Pfeil in Fig. 2 weist auf ein solches Fasernpaar hin.

Fig. 3.

* Mittelpunkt.

Wir müssen daher gegen Exner unsere Ansicht aufrechterhalten, daß die radiale Faserung auch schon bei einfarbigem Licht auftritt.

III. Das Wahrscheinlichkeitsgesetz der Intensität.

Als Ausgangspunkt für die Theorie wählen wir einen Satz aus der Wahrscheinlichkeitsrechnung über die Summe unabhängiger (in einer Ebene gelegenen) Vektoren[1]. Sind $\mathfrak{A}_1, \mathfrak{A}_2 \cdots \mathfrak{A}_N$ diese Vektoren und $X_1, Y_1; X_2, Y_2 \cdots X_N, Y_N$ ihre Komponenten, so wird vorausgesetzt, daß den Werten, welche ein X_m oder Y_m annehmen kann, eine von den Werten der anderen X_m und Y_m unabhängige Wahrscheinlich-

[1] A. A. Markoff, Wahrscheinlichkeitsrechnung. Deutsch von Heinrich Liebmann, Leipzig und Berlin 1912, § 33. Hrn. Prof. Liebmann, der mich auf diesen Satz hinwies, möchte ich an dieser Stelle dafür meinen verbindlichsten Dank aussprechen.

keit zukommt. Ist ρ_m die Wahrscheinlichkeit des Wertepaares X_m, Y_m, so bilden wir nun zunächst die Summen

$$\sum \rho_m X_m = a_m \qquad \sum \rho_m Y_m = b_m \tag{7}$$

über alle möglichen Werte von X_m, Y_m, welche die mathematischen Hoffnungen von X_m, Y_m darstellen, ferner die mathematischen Hoffnungen von $(X_m - a_m)^2$, $(Y_m - b_m)^2$ und $(X_m - a_m)(Y_m - b_m)$:

$$\sum \rho_m (X_m - a_m)^2 = a'_m \qquad \sum \rho_m (Y_m - b_m)^2 = b'_m \qquad \sum \rho_m (X_m - a_m)(Y_m - b_m) = c'_m . \tag{8}$$

Setzen wir sodann

$$\sum{}^m a'_m = A \qquad \sum{}^m b'_m = B \qquad \sum{}^m c'_m = C , \tag{9}$$

so ist die Wahrscheinlichkeit, daß der Endpunkt des Vektors

$$\mathfrak{A} = \sum \mathfrak{A}_m$$

(wenn wir diesen vom Nullpunkt des Achsenkreuzes auftragen) bei dem Punkt X, Y innerhalb eines Bereiches $dXdY$ liegt:

$$\frac{1}{2\pi\sqrt{AB - C^2}} e^{-\frac{BX^2 - 2CXY + AY^2}{2(AB - C^2)}} dXdY. \tag{10}$$

Nun falle eine ebene Welle senkrecht auf eine Fläche f, auf welcher N ungleiche Teilchen nach Willkür verstreut sind. Ein einzelnes davon, welches sich am Ort x_m, y_m befindet, liefert in großer Entfernung eine Welle

$$\frac{e^{-ikR}}{R} \Psi_m(\alpha, \beta) e^{ik(x_m \alpha + y_m \beta)} .$$

Dabei hängt die Funktion $\Psi_m(\alpha, \beta)$ abgesehen von der Form, der Größe und dem Material des Teilchens auch noch von seiner Orientierung ab, welche wir genau wie die Lage des Teilchens auf der Fläche f dem Zufall überlassen. Setzen wir

$$\left.\begin{aligned} \Psi_m &= \Phi_m e^{i\vartheta_m} \qquad (\Phi_m, \vartheta_m \text{ reell}) \\ k(x_m \alpha + y_m \beta) &= U_m \end{aligned}\right\} \tag{11}$$

ein, so finden wir für die gesamte Welle im unendlichen bis auf einen nur von R abhängigen Faktor:

$$\mathfrak{A} = \sum \Phi_m e^{i[k(x_m \alpha + y_m \beta) + \vartheta_m]} = \sum \Phi_m e^{i(U_m + \vartheta_m)} . \tag{11a}$$

Die Vektoren $\mathfrak{A}_m$, aus welchen diese Summe zu bilden ist, haben die Komponenten

$$\begin{aligned} X_m &= \Phi_m \cos (U_m + \vartheta_m) \\ Y_m &= \Phi_m \sin (U_m + \vartheta_m) . \end{aligned}$$

Die Wahrscheinlichkeit eines Wertepaares X_m, Y_m ist

$$\rho_m = \frac{1}{f} dx_m dy_m \cdot w(\Phi_m, \vartheta_m) d\Phi_m d\vartheta_m, \qquad (11b)$$

wenn $w(\Phi_m, \vartheta_m)$ das aus der Gleichwahrscheinlichkeit aller Richtungen des Teilchens folgende, von den Koordinaten x_m, y_m des Teilchens unabhängige Wahrscheinlichkeitsgesetz für Φ_m und ϑ_m darstellt. Also wird nach (7)

$$a_m = \sum \rho_m X_m = \frac{1}{f} \iint \Phi_m w(\Phi_m, \vartheta_m) d\Phi_m d\vartheta_m \cdot \iint \cos(U_m + \vartheta_m) dx_m dy_m$$

$$b_m = \sum \rho_m Y_m = \frac{1}{f} \iint \Phi_m w(\Phi_m, \vartheta_m) d\Phi_m d\vartheta_m \cdot \iint \sin(U_m + \vartheta_m) dx_m dy_m.$$

Wenn wir die Integrale nach x_m und y_m ausrechnen, so erhalten sie nach (11) den Faktor $\frac{1}{k^2 f}$, welcher nach unserer Annahme über die Größe aller Abmessungen von f sehr klein ist. Im übrigen sind diese Integrale im Wert und im Vorzeichen sehr wechselnd, je nach der Form und Größe von f. Man sieht — vielleicht am einfachsten, wenn man f als Rechteck denkt —, daß Veränderungen seiner Abmessung um Bruchteile einer Wellenlänge sie stark verändern. Diese kleinen und in so weitgehendem Maße von den Besonderheiten der Fläche f abhängigen Größen können wir offenbar vernachlässigen:

$$a_m = b_m = 0.$$

Berechnen wir nun nach (8)

$$a'_m = \sum \rho_m X_m^2 = \frac{1}{2f} \iint \Phi_m^2 w(\Phi_m, \vartheta_m) d\Phi_m d\vartheta_m \cdot \iint (1 + \cos 2(U_m + \vartheta_m)) dx_m dy_m$$

$$b'_m = \sum \rho_m Y_m^2 = \frac{1}{2f} \iint \Phi_m^2 w(\Phi_m, \vartheta_m) d\Phi_m d\vartheta_m \cdot \iint (1 - \cos 2(U_m + \vartheta_m)) dx_m dy_m$$

$$c'_m = \sum \rho_m X_m Y_m = \frac{1}{2f} \iint \Phi_m^2 w(\Phi_m, \vartheta_m) d\Phi_m d\vartheta_m \cdot \iint \sin 2(U_m + \vartheta_m) dx_m dy_m,$$

so erhalten wir auch hier bei den Integrationen nach x_m, y_m gewisse, von $\cos 2(U_m + \vartheta_m)$ und $\sin 2(U_m + \vartheta_m)$ herrührende Summanden, welche wiederum zu $\frac{1}{k^2 f}$ proportional sind und in ihrem Wert und Vorzeichen schon bei den kleinsten Veränderungen von f stark schwanken. Vernachlässigen wir sie wieder, so folgt

$$a'_m = b'_m = \frac{1}{2} \iint \Phi_m^2 w(\Phi_m, \vartheta_m) d\Phi_m d\vartheta_m = \frac{1}{2} \overline{\Phi_m^2}, \qquad c'_m = 0.$$

Daraus nach (9)

$$A = B = \frac{1}{2}\sum_{1}^{N}{}_m\overline{\Phi^2_m} = \frac{1}{2}N\overline{\overline{\Phi^2}}, \qquad C = 0.$$

Der Mittelwert $\overline{\Phi^2_m}$ ist dabei über alle möglichen Lagen des $m$ten Teilchens, der Mittelwert $\overline{\overline{\Phi^2}}$ dagegen noch über alle Teilchen gebildet. Nach (10) ist somit die Wahrscheinlichkeit, daß der Endpunkt des Vektors $\mathfrak{A}$ beim Punkt X, Y liegt

$$\frac{1}{\pi N\overline{\overline{\Phi^2}}}e^{-\frac{X^2+Y^2}{N\overline{\overline{\Phi^2}}}}dXdY. \tag{12}$$

Das Quadrat des absoluten Wertes von $\mathfrak{A}, |\mathfrak{A}|^2 = X^2 + Y^2$, ist ein Maß für die Intensität J der resultierenden Schwingung; die Wahrscheinlichkeit, daß sie zwischen den Werten J und $J + dJ$ liegt, findet man, wenn man den Ausdruck (12) über die Fläche zwischen den Kreisen mit den Radien $\sqrt{J}$ und $\sqrt{J} + d\sqrt{J}$ integriert; das Ergebnis ist

$$W(J)\,dJ = \frac{1}{N\overline{\overline{\Phi^2}}}e^{-\frac{J}{N\overline{\overline{\Phi^2}}}}dJ. \tag{13}$$

Sind alle Teilchen gleich und gleichgerichtet, so wird $\overline{\overline{\Phi^2}} = |\Psi|^2$, und wir finden das Rayleighsche Resultat (4) wieder. Die mittlere relative Schwankung ist nach (5a) auch bei ungleichen Teilchen gleich 1. Der einzige Unterschied zwischen beiden Fällen liegt darin, daß bei gleichen Teilchen die Beugungsfigur des einzelnen Teilchens wie in Fig. 2 gleichsam als Untergrund für die Schwankungen zu erkennen ist, während bei ungleichen Teilchen der durch $\overline{\overline{\Phi^2}}$ angegebene Untergrund keinerlei Beziehung zum einzelnen Teilchen, vor allem keine Linien verschwindender Intensität erkennen läßt, sondern gleichmäßig und ziemlich langsam nach den äußeren Teilen des Beugungsbildes hin abklingt.

IV. Die Wahrscheinlichkeitsgesetze für die ersten Differentialquotienten der Intensität.

Um den schon in III benutzten Satz der Wahrscheinlichkeitsrechnung auf die Veränderungen der Intensität bei einer radialen, d. h. vom Mittelpunkt des Beugungsbildes fortweisenden, und einer dazu senkrechten, also tangentiellen Verschiebung des Aufpunktes anzuwenden, läge es nahe, die Intensität ähnlich wie in (2) als Doppelsumme zu schreiben und jeden Summanden als einen Vektor $\mathfrak{A}_m$ zu deuten. Das wäre aber nicht zulässig, weil die N^2 Summanden einer derartigen Summe durch die $2N$-Koordinaten der N-Teilchen bestimmt, und zwar bei gleichen und gleichgerichteten Teilchen vollständig bestimmt sind.

Damit stände die Voraussetzung der Unabhängigkeit der Vektoren $\mathfrak{A}_m$ in Widerspruch[1]. Wir berechnen deswegen zunächst nach (11a) die Veränderungen des Vektors $\mathfrak{A}$ bei den genannten Verrückungen, d. h. die Differentialquotienten $\frac{d\mathfrak{A}}{dr}$ und $\frac{d\mathfrak{A}}{dt}$; und ermitteln die Wahrscheinlichkeitsgesetze für sie.

Ist R der Abstand des Schirmes, auf welchen wir uns das Beugungsbild entworfen denken, oder, um der tatsächlichen Versuchsanordnung näher zu bleiben, die Brennweite des photographischen Objektivs, sind ferner ϑ und φ der Winkelabstand von der z-Achse und das Azimut gegen die xz-Ebene, so daß

$$\alpha = \sin\vartheta \cos\varphi = \sin\vartheta\cdot\gamma, \quad \beta = \sin\vartheta \sin\varphi = \sin\vartheta\cdot\delta \quad (14)$$
$$(\gamma = \cos\varphi, \qquad \delta = \sin\varphi)$$

ist, so ist eine radiale Verrückung

$$dr = Rd(\operatorname{tg}\vartheta) = \frac{R}{\cos^2\vartheta}\, d\vartheta \qquad (15)$$

eine tangentielle hingegen

$$dt = R\operatorname{tg}\vartheta\, d\varphi. \qquad (16)$$

Infolgedessen

$$\frac{d\mathfrak{A}}{dr} = \frac{\cos^2\vartheta}{R}\,\frac{\partial\mathfrak{A}}{\partial\vartheta}$$
$$\frac{d\mathfrak{A}}{dt} = \frac{1}{R\operatorname{tg}\vartheta}\,\frac{\partial\mathfrak{A}}{\partial\varphi}.$$

Setzt man nun die Werte (14) in (11a) ein, so hätte man bei der Ausführung der Differentiationen auch auf die Abhängigkeit von Φ_m und ϑ_m von der Richtung Rücksicht zu nehmen. In den meisten Fällen wird man aber die Differentialquotienten dieser Größen vernachlässigen können, weil die Teilchen so klein sind, daß die Veränderungen im Beugungsbild des einzelnen Teilchens verglichen mit den hier in Rede stehenden Schwankungen langsam vor sich gehen. Dieser Fall liegt z. B. in Fig. 2 vor, wie unmittelbar deren Anblick zeigt. Es wäre nicht schwer, an dieser Stelle streng zu rechnen. Da aber die Formeln dabei wesentlich länger würden, ohne daß das Ergebnis sich änderte, so wollen wir davon absehen. Unter dieser Vernachlässigung finden wir nun

[1] Man erhält z. B. ein ganz falsches Resultat, wenn man die Wahrscheinlichkeitsbetrachtungen von III ohne weiteres auf die Summe in (2) anwenden wollte.

$$
\begin{aligned}
\frac{d\mathfrak{A}}{dr} &= \frac{ik}{R}\cos^3\vartheta \sum \Phi_m (x_m\gamma + y_m\delta)\, e^{i[k\sin\vartheta(x_m\gamma + y_m\delta) + \vartheta_m]}\,, \\
\frac{d\mathfrak{A}}{dt} &= \frac{ik}{R}\cos\vartheta \sum \Phi_m (-x_m\delta + y_m\gamma)\, e^{i[k\sin\vartheta(x_m\gamma + y_m\delta) + \vartheta_m]}\,.
\end{aligned}
\tag{17}
$$

Wir beschäftigen uns zuerst mit ersteren Differentialquotienten.

Die Vektoren $\mathfrak{A}_m$, welche in ihm zu summieren sind, haben offenbar [vgl. (11)] die Komponenten

$$
X_m = -\frac{k}{R}\cos^3\vartheta\, \Phi_m (x_m\gamma + y_m\delta) \sin(U_m + \vartheta_m)
$$

$$
Y_m = \frac{k}{R}\cos^3\vartheta\, \Phi_m (x_m\gamma + y_m\delta) \cos(U_m + \vartheta_m)
$$

Daraus ergibt sich nach (7) und (11b)

$$
a_m = \sum \rho_m X_m = -\frac{k}{Rf}\cos^3\vartheta \iint \Phi_m w(\Phi_m, \vartheta_m)\, d\Phi_m\, d\vartheta_m \cdot \iint (x_m\gamma + y_m\delta)\sin(U_m + \vartheta_m)\, dx_m\, dy_m\,,
$$

$$
b_m = \sum \rho_m Y_m = \frac{k}{Rf}\cos^3\vartheta \iint \Phi_m w(\Phi_m, \vartheta_m)\, d\Phi_m\, d\vartheta_m \cdot \iint (x_m\gamma + y_m\delta)\cos(U_m + \vartheta_m)\, dx_m\, dy_m\,.
$$

Bei der Ausführung der Integrale nach x_m und y_m würde man wiederum Werte finden, welche (abgesehen von dem Faktor k, welcher vor den Integralen steht) $\frac{1}{k^2 f}$ als Faktor enthalten und schon bei sehr kleinen Änderungen an der Fläche f stark hin und her schwanken. Wir dürfen daher $a_m = b_m = 0$ setzen; daraus folgt weiter nach (8):

$$
a'_m = \sum \rho_m X_m^2
$$

$$
= \frac{k^2}{2R^2 f}\cos^6\vartheta \iint \Phi_m^2 w(\Phi_m, \vartheta_m)\, d\Phi_m\, d\vartheta_m \cdot \iint (1 - \cos 2(U_m + \vartheta_m))(x_m\gamma + y_m\delta)^2\, dx_m\, dy_m\,,
$$

$$
b'_m = \sum \rho_m Y_m^2
$$

$$
= \frac{k^2}{2R^2 f}\cos^6\vartheta \iint \Phi_m^2 w(\Phi_m, \vartheta_m)\, d\Phi_m\, d\vartheta_m \cdot \iint (1 + \cos 2(U_m + \vartheta_m))(x_m\gamma + y_m\delta)^2\, dx_m\, dy_m\,.
$$

$$
c'_m = \sum \rho_m X_m Y_m
$$

$$
= -\frac{k^2}{2R^2 f}\cos^6\vartheta \iint \Phi_m^2 w(\Phi_m, \vartheta_m)\, d\Phi_m\, d\vartheta_m \cdot \iint \sin 2(U_m + \vartheta_m)(x_m\gamma + y_m\delta)^2\, dx_m\, dy_m\,.
$$

Hier verschwindet c'_m aus dem gleichen Grunde wie a_m oder b_m, und auch in a'_m und b'_m können wir die von den Integrationen des Kosinus herrührenden Glieder fortlassen. Was dann noch von den Integralen

nach x_m und y_m übrigbleibt, hat je nach der Form der Fläche verschiedene Werte. Beim Kreise vom Radius K ist z. B.

$$\frac{1}{2f}\iint (x_m \gamma + y_m \delta)^2 \, dx_m \, dy_m = \frac{K^2}{8},$$

also

$$a'_m = b'_m = \frac{k^2 K^2}{8 R^2} \cos^6 \vartheta \, \overline{\Phi^2_m},$$

und nach (9)

$$\sum_1^N a'_m = A_r = B_r = \frac{k^2 K^2}{8 R^2} \cos^6 \vartheta \, N \overline{\overline{\Phi^2}}, \quad C_r = 0. \tag{18}$$

Den Index r haben wir hier an A, B und C angehängt, um die Beziehung dieser Größen zu $\frac{d\mathfrak{A}}{dr}$ zum Ausdruck zu bringen. Die entsprechenden Größen für $\frac{d\mathfrak{A}}{dt}$, A_t, B_t und C_t lassen sich aber genau ebenso berechnen; es verschwinden wieder die a_m und b_m, desgleichen c'_m, während die in a'_m und b'_m auftretenden Integrale nach x_m und y_m für eine kreisförmige Fläche f denselben Wert $\frac{K^2}{8}$ haben, wie soeben. Für andere Formen wäre diese Gleichheit zwar nicht genau, aber doch ungefähr erfüllt. Beschränken wir uns auf den ersteren Fall, so finden wir aus (17):

$$A_t = B_t = \frac{k^2 K^2}{8 R^2} \cos^2 \vartheta \, N \overline{\overline{\Phi^2}}. \tag{19}$$

Die Wahrscheinlichkeitsgesetze für die Vektoren $\frac{d\mathfrak{A}}{dr}$ und $\frac{d\mathfrak{A}}{dt}$ lauten nach (10) somit:

$$\frac{1}{2\pi A_r} e^{-\frac{X^2+Y^2}{2A_r}} dX\,dY \qquad \frac{1}{2\pi A_t} e^{-\frac{X^2+Y^2}{2A_t}} dX\,dY. \tag{20}$$

Wir brauchen aber nicht diese unmittelbar, sondern die Wahrscheinlichkeitsgesetze für $\frac{d|\mathfrak{A}|}{dr}$ und $\frac{d|\mathfrak{A}|}{dt}$. Um diese abzuleiten, setzen wir

$$\mathfrak{A} = |\mathfrak{A}| e^{i\alpha} \qquad \overline{\mathfrak{A}} = |\mathfrak{A}| e^{-i\alpha},$$

woraus folgt:

$$\frac{d\mathfrak{A}}{dr} = \left(\frac{d|\mathfrak{A}|}{dr} + i|\mathfrak{A}|\frac{d\alpha}{dr}\right)e^{i\alpha}, \quad \frac{d\overline{\mathfrak{A}}}{dr} = \left(\frac{d|\mathfrak{A}|}{dr} - i|\mathfrak{A}|\frac{d\alpha}{dr}\right)e^{-i\alpha},$$

$$\left.\begin{aligned} \frac{d|\mathfrak{A}|}{dr} &= \frac{1}{2}\left(\frac{d\mathfrak{A}}{dr}e^{-i\alpha} + \frac{d\overline{\mathfrak{A}}}{dr}e^{i\alpha}\right) = \mathfrak{R}\left(\frac{d\mathfrak{A}}{dr}e^{-i\alpha}\right), \\ i|\mathfrak{A}|\frac{d\alpha}{dr} &= \frac{1}{2}\left(\frac{d\mathfrak{A}}{dr}e^{-i\alpha} - \frac{d\overline{\mathfrak{A}}}{dr}e^{i\alpha}\right) = \mathfrak{J}\left(\frac{d\mathfrak{A}}{dr}e^{-i\alpha}\right). \end{aligned}\right\} \tag{20a}$$

Nun sind in den Wahrscheinlichkeitsgesetzen (20) die X- und die Y-Richtung durchaus gleichwertig, daher auch alle anderen Richtungen. Der reelle Anteil $\mathfrak{R}\left(\frac{d\mathfrak{A}}{dr}e^{-i\alpha}\right)$ befolgt daher genau dasselbe Wahrscheinlichkeitsgesetz wie $\mathfrak{R}\left(\frac{d\mathfrak{A}}{dr}\right)$ selbst, d. h. die Wahrscheinlichkeit, daß $\frac{d|\mathfrak{A}|}{dr}$ in den Grenzen X und $X+dX$ liegt, ist

$$\frac{1}{2\pi A_r}e^{-\frac{X^2}{2A_r}}dX \cdot \int_{-\infty}^{+\infty} e^{-\frac{Y^2}{2A_r}}dY = \frac{1}{\sqrt{2\pi A_r}}e^{-\frac{X^2}{2A_r}}dX. \tag{20b}$$

Ebenso ist die Wahrscheinlichkeit, daß $\frac{d|\mathfrak{A}|}{dt}$ zwischen diesen Grenzen liegt:

$$\frac{1}{\sqrt{2\pi A_t}}e^{-\frac{X^2}{2A_t}}dX.$$

Daraus aber folgt im Hinblick auf (18) und (19)

$$\frac{\sqrt{\overline{\left(\frac{d|\mathfrak{A}|}{dr}\right)^2}}}{\sqrt{\overline{\left(\frac{d|\mathfrak{A}|}{dt}\right)^2}}} = \frac{\sqrt{A_r}}{\sqrt{A_t}} = \cos^2\vartheta < 1. \tag{21}$$

Nun können wir $|\mathfrak{A}|$ bis auf einen konstanten Faktor gleich $\sqrt{J}$ setzen; daher gilt der Satz:

Die durchschnittlichen Werte von $\frac{d\sqrt{J}}{dr}$ und $\frac{d\sqrt{J}}{dt}$ verhalten sich wie $\cos^2\vartheta : 1$. Die Veränderung der Intensität $\mathfrak{J}$ erfolgt in radialer Richtung im allgemeinen langsamer als in tangentieller Richtung, und zwar wächst dieser Unterschied, wenn wir uns vom Mittelpunkt der Beugungsfigur entfernen.

V. Die Wahrscheinlichkeitsgesetze für die höheren Differentialquotienten der Intensität.

Wenn wir aus den Gleichungen (17) mit Hilfe von (15) und (16) die zweiten Differentialquotienten von $\mathfrak{A}$ berechnen wollen, so hätten wir genau genommen die Differentiation auszuführen, 1. an Φ_m und ϑ_m, 2. an den Ausdrücken $\cos^3\vartheta(x_m\gamma + y_m\delta)$ und $\cos\vartheta(-x_m\delta + y_m\gamma)$, 3. an der Exponentialfunktion $e^{ik\sin\vartheta(x_m\gamma + y_m\delta)}$. Wir haben nun schon in IV begründet, daß wir von der ersteren Differentiation absehen können. Dasselbe gilt aber auch von der zweiten; denn nur bei der dritten dieser Differentiationen finden wir noch einmal den Faktor

$$k(x_m\gamma + y_m\delta) \quad \text{bzw.} \quad k(-x_m\delta + y_m\gamma),$$

welcher nach unserer Voraussetzung über die Fläche f in der großen Mehrzahl der Werte m eine sehr große Zahl ist. Die Summanden, welche von den beiden ersten Differentiationen herrühren, verschwinden ihm gegenüber. Infolgedessen haben wir zu schreiben

$$\frac{d^2\mathfrak{A}}{dr^2} = -\frac{k^2\cos^6\vartheta}{R^2}\sum\Phi_m(x_m\gamma + y_m\delta)^2 e^{i(U_m+\vartheta_m)}$$

$$\frac{d^2\mathfrak{A}}{dt^2} = -\frac{k^2\cos^2\vartheta}{R^2}\sum\Phi_m(-x_m\delta + y_m\gamma)^2 e^{i(U_m+\vartheta_m)}.$$

Die Wiederholung der Betrachtungen von III und IV ergibt, daß auch hier die Mittelwerte a_m und b_m, desgleichen c'_m verschwinden, während unter der Annahme einer kreisförmigen Fläche f für $\frac{d^2\mathfrak{A}}{dr^2}$

$$a'_m = b'_m = \frac{k^4\cos^{12}\vartheta}{2fR^4}\iint\Phi_m^2 w(\Phi_m, \vartheta_m)\,d\Phi_m\,d\vartheta_m\cdot\iint dx_m\,dy_m(x_m\gamma + y_m\delta)^4 = \overline{\Phi_m^2}\left(\frac{kK}{2R}\cos^3\vartheta\right)^4$$

$$A_{rr} = B_{rr} = \sum{}^m a'_m = N\overline{\Phi^2}\left(\frac{kK}{2R}\cos^3\vartheta\right)^4 \tag{22}$$

und für $\frac{d^2\mathfrak{A}}{dt^2}$

$$a'_m = b'_m = \frac{k^4\cos^4\vartheta}{2fR^4}\iint\Phi_m^2 w(\Phi_m, \vartheta_m)\,d\Phi_m\,d\vartheta_m\cdot\iint dx_m\,dy_m(-x_m\delta + y_m\gamma)^4 = \overline{\Phi_m^2}\left(\frac{kK}{2R}\cos\vartheta\right)^4$$

$$A_{tt} = B_{tt} = \sum{}^m a'_m = N\overline{\Phi^2}\left(\frac{kK}{2R}\cos\vartheta\right)^4 \tag{23}$$

ist. Die Wahrscheinlichkeitsgesetze für die Endpunkte der Vektoren $\frac{d^2\mathfrak{A}}{dr^2}$ und $\frac{d^2\mathfrak{A}}{dt^2}$ lauten aber nach (10):

$$\frac{1}{2\pi A_{rr}} e^{-\frac{X^2+Y^2}{2A_{rr}}} dXdY\,; \quad \frac{1}{2\pi A_{tt}} e^{-\frac{X^2+Y^2}{2A_{tt}}} dXdY. \qquad (24)$$

Sie sind wie die Gesetze (20) in X und Y symmetrisch.

Durch Differentiation schließen wir nun aus (20a):

$$\frac{d^2|\mathfrak{A}|}{dr^2} = \frac{1}{2}\left(\frac{d^2\mathfrak{A}}{dr^2} e^{-i\alpha} + \frac{d^2\overline{\mathfrak{A}}}{dr^2} e^{i\alpha}\right) - \frac{i}{2}\frac{d\alpha}{dr}\left(\frac{d\mathfrak{A}}{dr} e^{-i\alpha} - \frac{d\overline{\mathfrak{A}}}{dr} e^{i\alpha}\right)$$

$$= \Re\left(\frac{d^2\mathfrak{A}}{dr^2} e^{-i\alpha}\right) - \frac{1}{|\mathfrak{A}|}\left(\Im\left(\frac{d\mathfrak{A}}{dr} e^{-i\alpha}\right)\right)^2.$$

Hier bedeutet wie früher $\Re(z)$ den reellen Anteil der komplexen Zahl z, $\Im(z)$ ihren durch i dividierten imaginären Anteil. Wir erheben die letzte Gleichung ins Quadrat und mitteln bei konstantem $|\mathfrak{A}|$. Da die Wahrscheinlichkeitsgesetze (20) und (24) symmetrisch in X und Y sind, lauten nun die Wahrscheinlichkeitsgesetze für $\Re\left(\frac{d^2\mathfrak{A}}{dr^2} e^{-i\alpha}\right)$ und $\Im\left(\frac{d\mathfrak{A}}{dr} e^{-i\alpha}\right)$ wie die für $\Re\left(\frac{d^2\mathfrak{A}}{dr^2}\right)$ und $\Im\left(\frac{d\mathfrak{A}}{dr}\right)$, so daß man schreiben darf:

$$\overline{\left(\Re\left(\frac{d^2\mathfrak{A}}{dr^2} e^{-i\alpha}\right)\right)^2} = \overline{\left(\Re\left(\frac{d^2\mathfrak{A}}{dr^2}\right)\right)^2} = \frac{1}{2\pi A_{rr}} \int_{-\infty}^{+\infty}\int_{-\infty}^{+\infty} X^2 e^{-\frac{X^2+Y^2}{2A_{rr}}} dXdY = A_{rr}$$

$$\overline{\left(\Im\left(\frac{d\mathfrak{A}}{dr} e^{-i\alpha}\right)\right)^4} = \overline{\left(\Im\left(\frac{d\mathfrak{A}}{dr}\right)\right)^4} = \frac{1}{2\pi A_r} \int_{-\infty}^{+\infty}\int_{-\infty}^{+\infty} Y^4 e^{-\frac{X^2+Y^2}{2A_r}} dXdY = 3A_r^2.$$

Aus der Beziehung

$$\overline{\left(\frac{d^2|\mathfrak{A}|}{dr^2}\right)^2} = \overline{\left(\Re\left(\frac{d^2\mathfrak{A}}{dr^2} e^{-i\alpha}\right)\right)^2} + \frac{1}{|\mathfrak{A}|^2}\overline{\left(\Im\left(\frac{d\mathfrak{A}}{dr} e^{-i\alpha}\right)\right)^4} = A_{rr} + \frac{3}{|\mathfrak{A}|^2} A_r^2$$

und aus der entsprechenden für

$$\overline{\left(\frac{d^2|\mathfrak{A}|}{dt^2}\right)^2}$$

folgt aber nach (21), (23) und (24)

$$\frac{\sqrt{\overline{\left(\frac{d^2|\mathfrak{A}|}{dr^2}\right)^2}}}{\sqrt{\overline{\left(\frac{d^2|\mathfrak{A}|}{dt^2}\right)^2}}} = \frac{\sqrt{A_{rr} + \frac{3}{|\mathfrak{A}|^2} A_r^2}}{\sqrt{A_{tt} + \frac{3}{|\mathfrak{A}|^2} A_t^2}} = \cos^4\vartheta < 1\,. \qquad (25)$$

Die Mittelung ist hier, wie erwähnt, nur über Fälle mit gleichem $|\mathfrak{A}|$ ausgeführt; man erkennt ohne Rechnung, daß dieses Verhältnis aber auch bei Aufhebung dieser Beschränkung den angegebenen Wert behält. Somit gilt der Satz: Die durchschnittlichen Werte von $\frac{d^2\sqrt{J}}{dr^2}$ und $\frac{d^2\sqrt{J}}{dt^2}$ verhalten sich wie $\cos^4\vartheta:1$.

Man erkennt schon hier, daß bei weiterer Differentiation das Verhältnis der entsprechenden Durchschnittswerte immer kleiner wird. Es liegt dies einfach daran, daß, wenn man dabei, wie es in (21a) geschehen ist, immer nur die Glieder mit der höchsten Potenz von k beibehält, in den (21a) entsprechenden Formeln der Differentialquotient nach r stets eine höhere Potenz von $\cos\vartheta$ erhält wie der nach t.

Darin liegt aber die Erklärung für die radiale Faserung der besprochenen Beugungsbilder. Denn führen wir in der Ebene des Beugungsbildes Polarkoordinaten ρ, Θ ein, so können wir $\sqrt{J}$ von einem beliebigen Punkte ρ_0, Θ_0 aus in Taylorsche Reihen

$$\sqrt{J} = \sqrt{J_0} + \left(\frac{d\sqrt{J}}{dr}\right)_0 (\rho - \rho_0) + \frac{1}{2}\left(\frac{d^2\sqrt{J}}{dr^2}\right)_0 (\rho - \rho_0)^2 + \cdots$$

$$\sqrt{J} = \sqrt{J_0} + \left(\frac{d\sqrt{J}}{dt}\right)_0 \rho_0 (\Theta - \Theta_0) + \frac{1}{2}\left(\frac{d^2\sqrt{J}}{dt^2}\right)_0 \rho_0^2 (\Theta - \Theta_0)^2 + \cdots$$

entwickeln, deren erste für einen Punkt mit demselben $\Theta = \Theta_0$, deren zweite für einen Punkt mit demselben $\rho = \rho_0$ gilt. Da in der ersteren Reihe sämtliche Koeffizienten aller Wahrscheinlichkeit nach wesentlich kleiner sind als in der anderen, so wird sich wahrscheinlich $\sqrt{J}$ bei einer radialen Verschiebung weniger verändern als bei einer gleich großen tangentiellen.

Wir haben bisher die Fläche f als Kreis vorausgesetzt. Unsere Ergebnisse ändern sich etwas, wenn man diese Annahme fallen läßt. Wie man nämlich am einfachsten am Beispiel eines Rechteckes durchrechnet, erhält in den Gleichungen (21) und (25) $\cos^2\vartheta$ oder $\cos^4\vartheta$ noch einen von φ abhängigen Faktor. Infolgedessen sollte die Ausbildung der strahligen Struktur in der einen Richtung etwas weniger deutlich sein als in einer dazu senkrechten. Doch wird an dem Wesen der Sache nichts geändert.

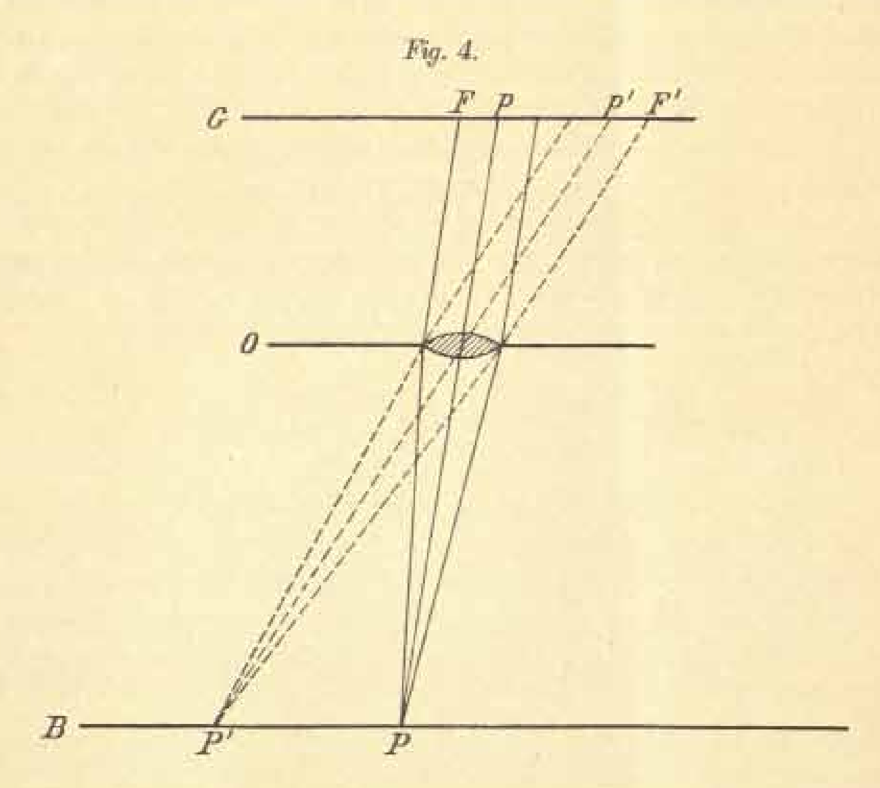
VI. Schlußbetrachtungen.

Zur Probe auf die Richtigkeit unserer Betrachtungen sei noch eine Abänderung der in § 2 beschriebenen Versuche und ihrer Erklärung mitgeteilt. Man entferne die Mattscheibe, von welcher dort die Rede

war, allmählich vom Auge. Dann bleiben die Intensitätsschwankungen zwar bestehen, doch wird die radiale Faserung allmählich undeutlicher, um schließlich ganz zu verschwinden.

Zur Erklärung zeichnen wir in Fig. 4 die Eintrittspupille O des Auges (oder der photographischen Kamera), die wir als Kreis vom Radius a annehmen, ferner vor ihr die Glasscheibe G mit den beugenden Teilchen und die Brennebene B der in O befindlichen Linse. Den

Fig. 4.



Abstand der Ebenen O und B bezeichnen wir ebenso wie früher mit R, den Abstand von O und G mit r. Der Unterschied gegen früher liegt darin, daß wir bisher r als so klein betrachteten, daß für alle Richtungen, die im Beugungsbild vertreten sind, dieselben Teilchen gebeugte Wellen liefern. Das ist jetzt offenbar nicht mehr der Fall; vielmehr strahlen nach P ganz andere Teilchen als nach P', wenn die kreisförmigen Flächenstücke F und F' in Fig. 4 sich nicht mehr decken. Die hinreichende und notwendige Bedingung dafür ist, daß ihre Mittelpunkte p und p' weiter als $2a$ voneinander abstehen, daß also

$$PP' = pp' \frac{R}{r} \geqq \frac{2a}{r} R$$

ist. Diese Bedingung gilt ganz unabhängig davon, ob die Verschiebung PP' radial, tangentiell oder sonstwie gerichtet ist. Vorzugsrichtungen

für besonders schnelle und langsame Veränderungen der Intensität kann es somit nicht geben, wenn wir r groß genug gegen a wählen; vielmehr bekommen wir auf diese Weise schließlich in Punkten P und P', deren Abstand $PP' = \frac{2a}{r} R$ gegen die durchschnittliche Länge und Breite der Fasern in den früher betrachteten Beugungsbildern klein ist, voneinander völlig unabhängige Intensitäten. Das Wahrscheinlichkeitsgesetz für deren Veränderung lautet dann für alle Verschiebungsrichtungen genau gleich. Ferner wird die Intensitätsänderung im allgemeinen auf um so kürzere Strecken vor sich gehen, je größer r ist und je näher sich infolgedessen die in der Intensität unabhängigen Punkte P und P' liegen.

Bisherige Ergebnisse der Untersuchung der von Dr. Reck in der Serengeti-Steppe, Deutsch-Ostafrika, ausgegrabenen Reste von Säugetieren.

Von W. Branca.

(Vorgetragen am 26. November 1914 [s. oben S. 1087].)

Der geologische Aufbau von Deutsch-Ostafrika läßt 3 verschiedene Zonen erkennen: an der Küste zieht, im Süden wenigstens, ein Streifen alttertiärer mariner Gesteine in einer Breite von ungefähr 1 km dahin, der weiter nach Norden durch einen Streifen pleistozäner Gesteine abgelöst wird. Weiter landeinwärts folgt ein von Nord nach Süd gestreckter Streifen von Kreide- und Juragesteinen, der ungefähr eine Breite von 100 km besitzt. Noch weiter landeinwärts folgt uraltes, weithin ausgedehntes Gneisgebiet. Da also, wo heute im Landinnern dieses Gneisgebiet sich ausdehnt, ist seit uralter, mindestens seit kambrischer[1] Zeit Festland gewesen, das anscheinend dann nie wieder unter den Meeresspiegel gesunken ist. Zwar liegen auf dem Gneis teils Karuschichten, teils sehr viel jüngere, vulkanische Gesteine; aber alle diese sind terrestrischer Entstehung. Von marinen Schichten fand sich bis jetzt — bei Absehen von jenen fraglichen präkambrischen im Norden — auch nicht die geringste Spur auf dem Gneisgebiete, die uns Kunde davon gäbe, daß — mindestens seit kambrischer Zeit — der Gneis einst zu gewisser Zeit hinabgesunken wäre und den Boden eines Meeres gebildet hätte, dessen Sedimente später bis auf solche leisen Reste wieder abgetragen wären.

Ganz ungefähr da, wo der Jura-Kreidestreifen an den Gneis stößt, war einst zur Jura- und Kreidezeit die Meeresküste, die also damals etwa 100 km weiter landeinwärts lag. Gegen Ende der Kreidezeit hob sich das Festland, so daß dieser 100 km breite Streifen damaligen Meerbodens trockengelegt und an das Festland angegliedert wurde. Wiederum nach

[1] Vielleicht gehören gewisse auf dem Gneis liegende Gesteine im Norden von Deutsch-Ostafrika dem marinen Präkambrium an.

Ablauf der älteren[1] Tertiärzeit erfolgte dann im Süden wieder eine Hebung, die sich vielleicht damals noch weiter seewärts erstreckte, als heute der Fall ist. Jedenfalls aber wurde der etwa 1 km breite Streifen tertiärer Sedimente ebenfalls dem Festlande angegliedert. Im Norden erfolgte hier die Hebung erst später (gehobene Korallenriffe).

Aber es müssen auch noch später Hebungen und Senkungen des Festlandes bzw. Meerbodens stattgefunden haben; denn wir finden in die Flußmündungen stromaufwärts sich hinziehende Terrassen, die in 8 und in 40 m Höhe sich befinden, so daß hier also später eine Hebung von wenigstens 40 m stattgefunden haben muß. Andererseits aber finden wir an den Flußmündungen ertrunkene Flußtäler, die sich auf dem Relief des Meeresbodens als vertiefte Rinnen zweifellos darstellen und die hier bis 500 m Tiefe hinabgehen: ein Beweis dafür, daß an diesen Stellen das ehemalige Festland mit den Flußmündungen um ungefähr 500 und selbst bis zu 1400 m hinabgesenkt sein muß[2].

Dieses absonderliche Auftreten von nahe beieinander gelegenen Hebungen und Senkungen an einer und derselben Küste besitzt etwas Rätselhaftes. Durch ein zeitliches Nacheinander läßt es sich schwer erklären, da beides, Hebung wie Senkung, anscheinend jüngsten Datums ist und die Höhenunterschiede zwischen beiden oft ein sehr beträchtliches Maß aufweisen. So steht z. B. in Deutsch-Ostafrika der durch Terrassen angezeigten Hebung von 40 m eine durch untergetauchte Flußtäler angedeutete Senkung von 500, ja bis 1400 m Betrag gegenüber. Penck sucht solche Erscheinungen in Natal durch Flexuren zu erklären, deren Knoten festliegt, während der eine Flügel gehoben, der andere gesenkt wird. Durch die Verschiedenheit der Lage des Knotens über oder unter dem Meeresspiegel oder gerade in demselben ergeben sich dann notwendig Unterschiede.

Wenn wir nun das sehr geringe Maß der Hebung auf dem Lande und das sehr große der Senkung Deutsch-Ostafrikas an der Küste auf dem Meeresboden nebeneinanderstellen, so würde man daraus eine sehr tief unter dem Meeresspiegel befindliche Lage des Flexurknotens folgern müssen, dergestalt, daß sich Hebung und Senkung wesentlich nur unter dem Meeresspiegel abgespielt hätte; was ja an sich natürlich ebensowohl möglich wäre wie der entgegengesetzte Fall, daß bei sehr hoher Lage des Knotens über dem Meeresspiegel eine Hebung und Senkung wesentlich nur das Festland in Mitleidenschaft zieht.

---

[1] Eozän, Oligozän, zum Teil wohl auch (älteres) Miozän.

[2] Derartige Erscheinungen, die einerseits auf Hebung in jüngster Zeit und andererseits wieder auf Senkung in jüngster Zeit schließen lassen, finden wir ja ganz allgemein an Meeresküsten.

Von Staff[1] macht indessen für die Verhältnisse Deutsch-Ostafrikas geltend, daß sich die Auffassung als »Abbiegungs- oder Schaukelküsten«, wie von Staff die Flexurküsten benannt wissen möchte, zwar in unserem Gebiete für die Unterkreidezeit vortrefflich anwenden lasse, nicht aber für die Gegenwart, weil es sich hier um eine echte Bruchküste handelt. Er sucht daher für Deutsch-Ostafrika, aber eventuell auch für Natal, diese Verhältnisse mit Hilfe der Chamberlin-Salisburyschen Sackungshypothese zu erklären. Diese stützt sich auf zwei zu einander in ursächlicher Beziehung stehende Vorgänge. Einmal darauf, daß ein durch Faltung entstandenes Gewölbe, nach Aufhören der faltenden Kräfte oder auch schon während der Faltung, einsinkt, so daß ein Koffergewölbe entsteht, indem die beiden Schenkel sich steil stellen und das Gewölbedach eben und ausgedehnt wird, woraus schließlich zwischen ihm und den Schenkeln an der Umbiegungsstelle ein Bruch entsteht. Auf solche Weise wird der Außenrand der Küsten tief hinabgesenkt, die dortigen Flußrinnen also in die Tiefe versenkt, während das Hinterland der Küste aufgebogen, die Flußerosion also neu belebt wird. Dazu gesellt sich dann aber noch ein zweites: Infolge dieses Hebens und Absinkens, also der Vergrößerung des Höhenunterschiedes, muß zugleich ein verstärktes Hinabgleiten der küstennächsten Teile der Landoberfläche mit ihren Flußtälern in das Meer hinaus erfolgen.

Für eine Bruchküste scheint auch mir diese Erklärung einleuchtender. Aber es müßte, meine ich, als Probe auf das Exempel eine Bedingung erfüllt sein: Wenn in solcher Weise ein Hinabgleiten der küstennächsten Teile der Landoberfläche mit ihren Flußtälern stattfindet, dann werden sie nicht senkrecht versenkt, wobei die Oberflächengestaltung gut erhalten unten ankommen könnte. Die Bewegung findet vielmehr in schräger Richtung statt. Dadurch aber muß eine starke Stauung des Ganzen, namentlich an der Stirn, und infolgedessen eine Verschiebung seiner Oberflächengestaltung eintreten (Reyer), die sich bei genauer kartographischer Wiedergabe der Topographie des Meeresbodens unfehlbar als Verunstaltung verraten muß.

Nun zeigt die von von Staff gegebene Karte eine Anzahl ertrunkener Flußtäler, die durchaus nicht mißgestaltet sind. So wie sie da gezeichnet sind, könnten sie ohne weiteres auch an der Oberfläche des Festlandes gestaltet sein; und nur der seewärts gelegene Teil des untermeerischen ertrunkenen Rovuma-Tales weist eine Verunstaltung

[1] Von Staff, Einige tektonisch-morphologische Probleme Äquatorialafrikas von allgemeiner Bedeutung. Archiv f. Biontologie Bd. III, Heft 3. Berlin 1914, S. 149—223. Wissenschaftliche Ergebnisse der Tendaguruexpedition 1909—1912. Herausgegeben v. d. Ges. Naturforschender Freunde zu Berlin.

der normalen Flußmündungsform auf. Aber das ist auch der einzige Fall auf dieser Karte, bei dem die Lotungen so weit seewärts hinaus gemacht worden sind. Alle anderen auf dieser Karte ersichtbaren ertrunkenen Flußtäler sind nicht so weit seewärts verfolgt.

Immerhin zeigt sie doch nicht das, was man vermuten möchte: Eine senkrecht zur Abgleitungsrichtung, also parallel der Küste durch Stauung an der Stirn stattfindende Faltung, die sich in den Höhenlinien des ertrunkenen Flußtales sofort bemerkbar machen müßte.

Es entstehen daher die Fragen: 1. Sind diese Lotungen an der Küste Deutsch-Ostafrikas so genau, daß das topographische Bild ein ziemlich richtiges ist? Wenn ja, dann ist mein Bedenken gerechtfertigt. 2. Wie verhalten sich die seewärts gelegenen Fortsetzungen der anderen ertrunkenen Täler dort an der Küste, die leider noch nicht so weit seewärts aufgenommen sind? Sind sie ebenfalls, wie bei dem Rovuma, etwas mißgestaltet, aber doch nicht gefaltet, dann würde man immerhin einen Beweis für eine weit draußen in der See stattgefundene Stauung darin erblicken können. Aber man würde erstaunt sein dürfen, daß hier, an der Stirn der abgeglittenen Scholle, die Stauung nicht stärker war, nicht in Faltung überging. 3. Ist der Meeresteil der Karte aber doch etwa nur als »Übersichtskarte« in großen Zügen aufgenommen? Dann würden die oben darauf gegründeten Schlüsse nicht statthaft sein.

Auf dem obengenannten Gneisfestlande wuchsen zur Lias(?)-Zeit die großen Koniferenwälder, von denen versteinerte Reste durch Dr. Reck geborgen wurden. Auf diesem Gneisfestlande lebten dann die großen Herden der Dinosaurier, die an der Wende der Jura- und Kreidezeit nahe der Küste in der Gegend des heutigen Tendaguruberges im Meere begraben wurden und deren überreiche, in 4 Jahren gemachte Ausbeute durch Prof. Dr. Janensch und Dr. Hennig, Prof. Dr. von Staff und Dr. Reck gesammelt wurde. Auf diesem Festlande endlich lebten sehr viel später die großen Herden von Säugern, die in vulkanischen Tuffen begraben, durch Dr. Reck in einem fünften Jahre gesammelt wurden.

Für die reiche Unterstützung, die mir von der Königlichen Akademie bei diesen vom Geologisch-Poläontologischen Institut und Museum gemachten Ausgrabungen zuteil wurde[1], sage ich an dieser Stelle aufrichtigsten Dank.

Wie gewaltig groß die Ausbeute gewesen ist, die wir am Tendaguru gemacht haben, geht aus den folgenden Zahlen hervor:

[1] 19000 Mark für die Tendaguru-Expedition, 8000 Mark für die andern Ausgrabungen, die Dr. Reck unternahm.

Gesammelt wurden von mir für die Ausgrabungen an Beiträgen von Privaten und gelehrten Körperschaften rund 192000 Mark[1]. Dazu gesellt sich aber noch eine sehr ansehnliche Summe, die in Form von Frachtermäßigung auf die Hälfte sowie in Form von Schenkungen für die Expedition an Apparaten und Naturalien geschahen, so daß die Summe 200000 Mark noch ansehnlich überschreiten wird, die ich auf solche Weise zusammenbringen konnte.

Zu diesen von mir gesammelten Geldern kamen dann noch hinzu 50000 Mark vom Staate für die Ausgrabungen und weitere 50000 Mark für die sehr kostspielige Präparation der Knochen.

In den 4 Jahren 1909 bis 1912 sind vom Tendaguru nach Berlin geschafft worden 5800 Trägerlasten, die in 1050 großen Kisten verpackt wurden, mit einem Gesamtgewicht von 225000 kg.

Die Ausbeute in der Serengeti-Steppe ist natürlich unvergleichlich viel kleiner, da hier der sehr weite Transport von der Fundstätte bis an das Meer hindernd im Wege lag und da nur in einem Jahre, 1913, gegraben wurde. Dr. Reck gibt den Umfang seiner Ausbeute auf 173 Trägerlasten an. Da die im Oldoway gesammelten Knochen sehr viel weniger versteinert, also sehr viel leichter sind als die am Tendaguru gegrabenen so sehr viel älteren, so enthalten natürlich 173 Lasten im Oldoway eine viel größere Ausbeute an Knochen, als sie am Tendaguru enthalten würden. So erklärt es sich, daß die anscheinend nicht große Zahl der Lasten doch eine so große Ausbeute an Skeletteilen heimgebracht hat. Es ist das die erste größere Säugerfauna, die so tief im Innern Afrikas ausgegraben worden ist.

Die Untersuchung über diese Säuger, namentlich über die Frage nach ihrem geologischen Alter, ist noch nicht abgeschlossen. Es ist jedoch aus mehrfachen Gründen wünschenswert, den derzeitigen Stand der Untersuchung darzulegen.

Die Fundstätte in der Serengeti-Steppe wurde entdeckt von Prof. Kattwinkel in München. Er brachte von dort einige Knochen mit nach München, die nach freundlicher Mitteilung des Hrn. Kollegen Rothpletz generisch bestimmt wurden als Hipparion, Helladotherium, Hippopotamus und als Proboszidier, die wahrscheinlich zu Mastodon gehören. Zur spezifischen Bestimmung reichte das Material nicht hin. Indessen schon die Feststellung der Gattungen genügte, um das jungtertiäre Alter dieser vulkanischen Tuffschichten sehr wahr-

[1] Gegenüber den in Heft 1 der Ergebnisse der Tendaguru-Expedition (Archiv für Biontologie Bd. III, Heft 1, 1914) gemachten Zahlenangaben können jetzt noch höhere gemacht werden, da damals die ganze Ausbeute noch nicht herbeigeschafft war, auch später noch 2 Schenkungen gemacht wurden (s. ebenda Heft 2).

scheinlich zu machen, da, abgesehen von dem heute noch lebenden Hippopotamus, alle anderen Gattungen ausgestorben sind und zugleich die Vergesellschaftung Hipparion, Helladotherium lebhaft an die unterpliozäne Fauna von Pikermi erinnert[1].

Trotzdem scheint mir vorsichtigste Prüfung dieser Altersfrage geboten. Viel weniger deswegen, weil die von Reck in den Oldoway-Tuffen gefundenen anderen, später zu erwähnenden Gattungen bzw. Arten durchaus nicht für ein tertiäres, sondern nur für ein jüngeres, diluviales oder gar zum Teil noch jüngeres Alter sprechen: denn man wird zur Erklärung dessen sagen können, jene von Kattwinkel gefundenen Formen[2] stammten vermutlich aus einem tieferen, von Reck gar nicht aufgefundenen Horizonte. Viel mehr scheint mir eine solche Prüfung aus anderen Gründen notwendig:

Zunächst einmal die von Kattwinkel gefundene Gattung Hippopotamos. Sie beweist nichts für ein alt- oder auch nur mittelpliozänes Alter, wenn sie auch in Ägypten und Algier schon im Mittelpliozän vorkommt; denn die Gattung ist langlebig. Sie ist auch ein Mitglied der von Reck gefundenen jüngeren Fauna, tritt ebenso in Südafrika im Pleistozän auf[3] und lebt ja sogar heute noch im tropischen Afrika. Von dieser Gattung müssen wir also für die Altersbestimmung ganz absehen[4].

Sodann Mastodon. Diese Gattung ist freilich in Europa nur tertiären Alters. Aber sie hat in Nordamerika noch in diluvialer Zeit gelebt, wenngleich schon weiter zum Elefantenstadium vorgeschritten; und sie ist, was noch mehr sagen will, auch in Südafrika noch im Pleistozän[2], zusammen mit Equus und Hippopotamus, gefunden worden. Damit schaltet sich also auch die zweite der von Kattwinkel gefundenen Gattungen als sicheres Beweismittel für pliozänes Alter aus.

Wenden wir uns nun zu der dritten von Kattwinkel gefundenen Gattung, zu Hipparion; sie hat ebenfalls in Nordamerika noch im Diluvium

[1] Vgl. darüber E. Stromer, Funde fossiler Wirbeltiere in den deutschen Schutzgebieten in Afrika (Naturwissenschaftl. Wochenschrift von Miehe, Leipzig 1914, S. 1, 2, 7).

[2] Reck fand nichts von ihnen bis auf Hippopotamus.

[3] R. Beck, Mastodon in the Pleistocene of South-Africa (Geological Magazine III, 1906, S. 49—50).

[4] Auch E. Fraas berichtet (E. Fraas, Pleistozäne Fauna aus den Diamantseifen von Südafrika, Zeitschr. d. deutschen geolog. Ges. Bd. 59, 1907, Heft 2, S. 11) über das Vorkommen von Hippopotamus amphibius Lin. var robustus, Equus vgl. Zebra Lin. einer Antilope Damaliscus sp., Bubalus Bainii Seel., Mastodon sp. in den pleistozänen Flußschottern bei Barkly West u. a. O. am Vaalflusse, die auf Diamanten abgebaut werden. Passarge (S. Passarge, Die Kalahari, 1904, Berlin, S. 661) hat ihre Entstehung in seine Pluvialzeit verlegt, und E. Fraas stimmt ihm im allgemeinen darin bei, wenn er auch (a. a. O. S. 11) für diese Ablagerungen, wegen des Vorkommens des altertümlichen Mastodon, ein altpleistozänes Alter anzunehmen geneigt ist.

gelebt. Daß sie auch in Nordafrika noch in jüngerer Zeit gelebt hat als bei Pikermi (unterpliozän), hat schon Blanckenhorn betont, der sie aus dem Oberpliozäen und zwar von verschiedenen Orten und selbst aus dem jüngsten! Pliozän, aufführt. Bei der Wichtigkeit der Frage gebe ich unten Blanckenhorns Angaben wieder[1]. Man sieht, daß auch Hipparion seine Beweiskraft für Pliozäen mehr und mehr verloren hat; und es fragt sich sehr, ob es in Afrika nicht auch — wie in Nordamerika — noch in diluvialer Zeit gelebt haben mag, da es dort doch sicher bereits in allerjüngsten pliozänen Schichten nachgewiesen ist. Mir scheint, man kann angesichts dieser Tatsachen auch in dem von Kattwinkel gefundenen Hipparion keinen zweifellosen Beweis für pliozänes Alter der Oldoway-Tuffe mehr erblicken.

Aber nun die vierte von Kattwinkel dort ausgegrabene Gattung, Helladotherium, die ebenfalls auf Pikermi, somit auf ein altpliozänes Alter hinzuweisen scheint. Es ist mir nicht bekannt, daß sie in jüngeren als unterpliozänen, also in oberpliozänen oder gar diluvialen Ablagerungen bisher gefunden ist. Nach dem bisherigen Stande unserer Kenntnisse sind wir mithin verpflichtet, diejenigen Schichten der vulkanischen Oldoway-Tuffe, in denen Kattwinkel diese Gattung — und das gilt damit nun auch von den mit ihr vergesesellschafteten anderen, oben besprochenen Gattungen — bis auf weiteres als unterpliozänen Alters anzusehen.

Ich kann indessen mein Mißbehagen über einen solchen Zwang nicht überwinden, bevor nicht durch erneute Ausgrabungen in diesen Tuffen volle Klarheit geschaffen ist. Wenn doch die anderen oben besprochenen Gattungen eine Langlebigkeit besitzen, die sie bis in oberpliozäne und gar diluviale Zeiten weiterleben ließ, warum könnte Gleiches nicht auch bei Helladotherium der Fall gewesen sein? Helladotherium

[1] Blanckenhorn: Geologностische Verhältnisse von Afrika. Atlasgebirge. Petermanns Mitteilungen (Ergänzungsheft 90, 1888, S. 33, 40). Oberpliozän von Oran (Ende des Astiens oder später), Brackwasserbildungen. »Die Hipparionten schließen sich in ihrer Bezahnung am meisten an die aus dem Messinien von Pikermi in Attika an. Wenn wir die in Rede stehenden Schichten, wie die charakteristiche Lagerungsart nahelegt, dem obersten Pliozänen über dem Astien zuteilen, bleibt der sich ergebende Schluß beachtenswert, daß die Hipparionten in Afrika sich länger gehalten haben, als dies im allgemeinen für Europa gilt.«

Von Süßwasserablagerungen führt er an das Vorkommen auf der Höhe von Kondiat Ali bei Constantine aus rotem Konglomerat des terrestrischen Pliozän. Darauf folgen Gypstone mit Landschnecken, die auch am Polygon, zu beiden Seiten des Rummelflusses, bei Aïn Jourdel (SO von Constantine) vertreten sind. Dabei auch nach Thomas »unbestimmte Reste von Dickhäutern und Wiederkäuern«.

Noch jüngere Schichten finden sich: »in dem Travertin-Plateau von Aïn el-Bey und Tigmart sammelte Thomas Reste von Sus phacochaeroides n. sp., Hipparion cf. gracile und Hippopotamus« . . . — »Den Beschluß der tertiären Süßwasserbildungen im Innern des Atlas machen rein fluviatile Absätze reich an Säugetieren« . . . . — »Das Konglomerat enthält Süßwasserkonchylien . . . und zahlreiche Säugetierknochen von einem Affen Cynocephalus, Bubalus antiquus, Palaeoreas, Antilope, Gazella, Hippopotamus, Hipparion gracile var., Equus Stenonis, Elephas meridionalis, Rhinoceros.«

ist eine altertümliche Giraffine, noch ohne Knochenfortsätze[1] auf den Stirnbeinen; ebensogut aber wie wir altertümliche hirschartige Tiere ohne solche Knochenfortsätze sogar noch heute lebend haben, obgleich das ein ganz überlebtes Entwickelungsstadium der Hirsche ist, ebensogut muß wenigstens die Möglichkeit ins Auge gefaßt werden, daß noch bis in diluviale Zeit hinein das Helladotherium-Stadium sich erhalten haben könnte.

Freundlicher Mitteilung des Hrn. Kollegen Rothpletz verdanke ich freilich die Nachricht, daß Reck im Oldoway nicht an der Stelle gegraben habe, an der Hr. Kattwinkel jene Fauna fand, sondern an der von Frau Prof. Kattwinkel entdeckten Örtlichkeit; wogegen Reck[2] die Ansicht ausspricht, er habe an der von Kattwinkel ihm in München bezeichneten, also gleichen Stelle gegraben. Aber auch wenn Reck sich, wie es möglich, darin irren sollte, so wäre doch wohl damit ein unter-

---

[1] Das Okapi (K. Lampert, Vom Okapi. Jahreshefte des Vereins für vaterländische Naturkunde in Württemberg, Stuttgart 1914, S. 43—59) besitzt am Schädel ebenfalls diese Knochenzapfen wie die Giraffe; ob sie aber dem Weibchen des Okapi fehlen, ist noch fraglich. Allerdings finden sich unter den bisherigen wenigen bekannten Schädeln auch solche ohne Fortsätze. Indessen ist für diese eine andere Deutung möglich. Bei der Giraffe — und das gilt vielleicht ganz ebenso vom Okapi — sind diese Knochenzapfen epiphysenartig, d. h. beim jungen Tier sind sie nur durch Knorpelsubstanz mit dem Schädel verbunden, die wie bei einer echten Epiphyse erst im späteren Wachstum verkalkt, so daß dann erst der Knochenzapfen mit dem Schädel fest verwachsen ist. Daher lassen sich bei jugendlichen Giraffenschädeln durch die Mazeration diese Knochenzapfen, wie Lampert ausführte, ganz von dem Schädel loslösen, so daß dann ein anscheinend fortsatzloser Schädel vorliegt. Möglicherweise könnte das gleiche von den fortsatzlosen Schädeln des Okapi gelten. Beide gleichen dann scheinbar darin denen von Helladotherium, bei dem jedoch wirklich keine Knochenzapfen vorhanden sind.

Von großem Interesse ist der (Lampert, a. a. O. S. 57) Umstand, daß beim Okapi diese Knochenzapfen nur beim jungen Tiere ganz von Haut überzogen sind, wie das bei der Giraffe zeitlebens der Fall ist. Beim älteren Okapi aber tritt die oberste Spitze des Knochenzapfens etwa 1 cm weit aus der Haut heraus und ist hier, wie Lampert angibt, durch eine ringartige Furche von dem unteren Knochenstück getrennt, so daß wir hier wirklich an die Analogie mit einem Hirschgeweih denken könnten. Das Samotherium aus dem Unterpliozän von Samos dürfte dem Okapi nahe gestanden haben bzw. könnte das Okapi dessen noch heute in Afrika lebender Nachkomme sein.

Wenn man sich vergegenwärtigt, daß die Cervicornia in ihren ältesten Entwickelungsstadien noch einen Schädel ganz ohne solche Knochenfortsätze, also wie Helladotherium unter dem Giraffinae, besaßen, daß dann nicht abwerfbare Knochenfortsätze am Schädel entstanden (Dicroceros), also ähnlich wie Samotherium und die heutige Giraffe, daß dann am distalen Ende der Knochenfortsätze ein jährlich abwerfbares Geweih entstand — dann könnte man die Vorstellung bekommen, daß in der Zukunft auch die bereits abenteuerliche Gestalt der Giraffe noch absonderlicher dadurch werden könnte, daß auch hier am distalen Ende der Knochenfortsätze des Schädels sich abwerfbare Geweihe oder doch kleinere Gehörne bilden könnten.

[2] H. Reck, Zweite vorläufige Mitteilung über fossile Tier- und Menschenfunde aus Oldoway (Sitzungsberichte der Gesellschaft Naturforschender Freunde zu Berlin; 1914, Nr. 7, S. 305—318).

pliozänes Alter noch nicht für die KATTWINKELsche Örtlichkeit erwiesen. Hoffentlich wird trotz des Krieges durch KATTWINKELS neue verdienstvollen Ausgrabungen Licht in diese Frage kommen, die ja auch für das Alter des Beginnes der dortigen vulkanischen Ausbrüche und der Grabenbrüche entscheidend ist.

Aber diesen Dingen kommt auch noch eine viel größere, ganz allgemeine Bedeutung zu. Es ist klar, daß an und für sich keine Notwendigkeit besteht, daß irgendeine als Leitfossil angesehene Tierform an allen Orten ihres Auftretens notwendig zu gleicher Zeit ausgestorben bzw. verschwunden sein müßte. Die Geologie verfährt zwar bei der Altersbestimmung der Schichten im allgemeinen so, als ob die Gleichzeitigkeit des Verschwindens stets und überall ohne weiteres stattgefunden habe. Das mag auch bei geringem Ausbreitungsgebiete eines Lebewesens immer der Fall sein; bei einem großen Ausbreitungsgebiete aber scheint mir das durchaus nicht immer nötig zu sein. Es wird hier gewiß nicht so selten vorgekommen sein, daß das Aussterben bzw. Verschwinden einer Art bzw. Gattung in einer Gegend beginnt, also früher einsetzt als in einer weit davon entfernten. Mastodon ist dafür ein gutes Beispiel; man sieht hier, daß er in Nordamerika einen Zufluchtsort gefunden hatte, in dem er noch in die Diluvialzeit hinein lebte, während der er bei uns bereits ausgestorben bzw. verschwunden war.

Allerdings war dieser diluviale Mastodon Nordamerikas bereits elephasähnlicher geworden als die tertiären Mastodonten, aber immerhin doch noch ein Mastodon.

Ähnliches zeigt sich auch bei andern Tierformen. So hat sich die ursprüngliche Geweihlosigkeit, die ursprüngliche Nichtverwachsung der Metapodien zu einem Kanonbein sowie die ursprüngliche Bewehrung im Gebiß mit starken Kaninen bei den Traguliden doch bis heute in Westafrika und Südostindien erhalten, während diese Eigenschaften bei den heutigen Cervicornia längst verschwunden sind. Das ist, wenn auch nicht Gleiches, so doch immerhin Ähnliches wie dort bei Mastodon. Noch schlagender ist das Verhalten des Menschen: Die nieder-organisierte diluviale Rasse bzw. Art, die man Homo primigenius genannt hat, findet sich in ihren Hauptmerkmalen heute noch ganz lokal erhalten in Australnegern.

Derartige Vorkommnisse, die sich vermehren lassen, mahnen zur Vorsicht gegenüber der in der Geologie herrschenden Neigung, eine Tierart, die sich auf weiten Gebieten als leitend für Ablagerungen einer ganz bestimmten Zeit erwiesen hat, nun auch auf der ganzen Erde nur allein für diese Zeit anzuerkennen; also von vornherein als völlig sicher anzunehmen, daß sie nicht an einer oder der andern Stelle der Erde

überlebend gewesen sein kann. Es ist das noch ein Überrest der alten auf die Katastrophenlehre gegründeten Anschauung d'Orbignys.

Ich wende mich nun zu der von Reck ausgegrabenen Fauna. Diese enthält vor allem eine sehr große, ausgestorbene Elefantenart.

Schon an und für sich ist jede von den lebenden Elefanten abweichende fossile Art in Afrika von besonderem Interesse; denn Nordafrika bildet, wie Stromer gezeigt hat[1], die Urheimat der Elephantiden. Diese setzten schon im Obereozän mit Paläomastodon in Ägypten ein, und später ist auch dort die Gattung Mastodon entstanden. Von dort aus hat dann Mastodon einerseits sich nach Europa, Asien, Amerika, anderseits nach Südafrika ausgebreitet[2].

Im besonderen aber ist dieser von Reck gefundene Elefant außerordentlich interessant darum, weil er nach der sehr gründlichen Untersuchung von Dr. Dietrich, der mir seine Ergebnisse in dankenswerter Weise zur Verfügung stellte, nicht etwa dem heutigen Kreise des afrikanischen Elefanten angehört, also dessen Vorfahr ist, wie man doch erwarten sollte, sondern dem Kreise des indischen Elefanten[3]. Es ist nämlich eine Varietät des Elephas antiquus, der ja auch in Europa in diluvialer Zeit verbreitet war[4]. Dieser Elephas antiquus aber schließt sich durch die pliozänen Formen des Elephas meridionalis und Elephas planifrons[5] an den Kreis des heutigen indischen Elefanten an[6].

Bemerkenswert ist auch die bedeutende Größe der Knochen des Elefanten vom Oldoway. Er übertrifft nach Feststellung Dietrichs darin die größten lebenden, nicht auch die fossilen, soweit sie Dietrich zugänglich waren, um ein volles Fünftel und den Durchschnitt der lebenden um ein Viertel. Dietrichs Arbeit wird ja das Nähere darüber bringen.

---

[1] E. Stromer von Reichenbach, Über die Bedeutung der fossilen Wirbeltiere Afrikas für die Tiergeographie (Verhandlungen der Deutschen Zoologischen Gesellschaft, 16. Jahresversammlung, 1906, S. 207).

[2] Wie auch E. Fraas ausführt (Zeitschrift der Deutschen Geologischen Gesellschaft 1907, Bd. 59, Heft 2, S. 12).

[3] Ein Vorfahr des heutigen afrikanischen Elefanten ist dagegen, nach Andrews' und Stromer von Reichenbachs Bestimmungen im jüngsten Diluvium des Fajum zu finden.

[4] Und zwar in einer altdiluvialen Form (so bei Mosbach und Mauer), deren Zähne durch geringere Lamellenzahl ausgezeichnet sind; und in einer jungdiluvialen (so bei Taubach), deren Zähne durch plattige Ausbildung der Joche und Breite der Kronen gekennzeichnet sind.

[5] Der pliozäne Elephas planifrons Indiens war über Südrußland nach Europa gelangt, wo er sich zum Elephas meridionalis umbildete, aus dem sich einerseits die baumäsende Linie des Elephas antiquus, anderseits, durch Elephas trogontherii hindurch, die grasäsende des Elephas primigenius entwickelte. Der indische Elephas planifrons bildete sich durch die Elephas-hysudricus-Form zum Elephas indicus um.

[6] Abgesehen von den Unterschieden der Bezahnung ist bei letzterem die Fossa intercondyloidea am distalen Gelenkende des Femur sehr schmal, und so verhält sich auch der Elefant vom Oldoway; bei dem afrikanischen dagegen ist sie sehr breit.

Dietrich faßt sein Endurteil über den Elefanten von Oldoway zusammen in die Worte: »In dem Oldowayer großwüchsigen Elefanten sehe ich einen durch die indisch-europäisch-afrikanischen Wanderungen bis südlich des Gleichers getriebenen Urelefanten. Er mag im Mitteldiluvium als bereits hochentwickelter E. antiquus in Äquatorialafrika eingetroffen sein und sich im Oldoway-Gebiet vielleicht noch um ein Geringes weiterentwickelt haben, bevor er — noch im Diluvum — ausstarb.«

Während also jene vorher erwähnten, von Kattwinkel gefundenen 4 Säugetierformen eher auf ein jungtertiäres Alter der vulkanischen Tuffablagerung verweisen, läßt dieser Elephas antiquus Recki Dietrich mit Sicherheit auf (ungefähr mittel-) diluviales Alter schließen.

Überraschenderweise scheint es aber, als ob die übrige Säugetier-Fauna auf ein abermals jüngeres, alluviales Alter hindeuten **könnte**; es gehören hierher die folgenden Formen: Rhinozeros, nach Reck wohl Rh. simus; Hippopotamus; Suiden; Schabraken-Schakal; Löffelhund, Otocyon; ein in dieser Gegend nicht mehr lebender wilder Hund Lykaon; Pferd, vermutlich Zebra; Büffel; zahlreiche Antilopen; Pavian, nach Reck ausgestorbene Art. Den größeren Teil dieser Fauna wollte Reck selbst untersuchen, was nun jedoch, da er in Afrika zurückgehalten ist, noch längere Zeit anstehen wird. Ich kann daher gegenwärtig nur dem Anschein nach ein Urteil dahin abgeben: Diese Formen machen einen jugendlichen rezenten Eindruck, denn sie scheinen nicht oder doch nur zum kleinen Teile von den heute noch lebenden Arten abzuweichen. Erst sehr weitgehende Untersuchung wird diese Frage klären können.

Aber diese Frage verquickt sich, meiner Ansicht nach, mit einer zweiten Frage von ganz allgemeiner Bedeutung: Sind denn wirklich alle die diluvialen Säugerarten, von denen man das annimmt, wirklich spezifisch abweichend von den heute noch lebenden? Oder sind sie zum größeren oder geringeren Teile eigentlich nicht berechtigt, einen eigenen Speziesnamen zu führen, da sie zwar in gewissen kleinen Merkmalen von den zum Vergleiche herangezogenen lebenden Individuen abweichen; aber, wenn man lebendes Vergleichsmaterial verschiedener Gegenden zur Verfügung hätte, von anderen Vertretern der Spezies vielleicht nicht abweichen würden. Eine und dieselbe verbreitete Art hat eben heute und hatte wohl auch damals ihre Lokalformen, Varietäten, die durch kleine Unterschiede, auch des Skeletts, voneinander abweichen, ohne doch aus der Art herauszufallen.

Wenn also die diluviale Säugerfauna in Wirklichkeit einen viel größeren Prozentsatz noch heute lebender Arten gehabt haben sollte,

als man gemeinsam annimmt, so wäre auch für die Oldoway-Fauna gleiches möglich, ohne daß sie deswegen notwendig alluvialen Alters sein müßte.

Nehmen wir aber einmal an, jene Säuger des Oldoway, von denen hier die Rede ist, seien, wegen überwiegender Übereinstimmung mit lebenden Formen, alluvialen Alters, so würde sich ergeben:

Wir haben somit bisher drei verschiedene Aussagen über das Alter der vulkanischen Tuffe bzw. ihrer Fauna im Oldoway: Pliozän, diluvial, alluvial. Das erstere erklärt sich im oben (S. 1170) gegebenen Sinne leicht. Letztere beiden Aussagen würden bedingen, daß diese Tuffe aber auch noch durch die diluviale bis in alluviale Zeit hineinragen. Eine solche aus pliozäner bis in jetzige Zeit hinreichende Dauer dieser vulkanischen Tuffablagerung ist gewiß nicht unmöglich. Aber ohne zwingende Beweise will sie nicht gerade sehr wahrscheinlich erscheinen, zumal da ihre Mächtigkeit keine so große ist.

Erst weitere Ausgrabung und Untersuchung können genügenden Aufschluß darüber geben. Hr. Prof. Kattwinkel hatte, wie schon erwähnt, dankenswerterweise in diesem Jahre große Ausgrabungen im Oldoway auf seine Kosten unternommen. Man weiß nicht, inwieweit der Krieg auch dieses wissenschaftliche Unternehmen geschädigt hat.

Auch die klimatischen Verhältnisse könnten, wie Reck hervorhob, einen gewissen Anhaltspunkt für eine Altersbestimmung dieser Fauna geben; insofern, als sie wenigstens lehren, daß seit jenen Tagen, in denen diese Ablagerungen gebildet wurden, bereits ein ziemlicher Zeitraum verstrichen sein muß. Heute hat nämlich die Serengeti-Steppe ein so trockenes Klima, daß kein Mensch[1] dort lebt, so daß das Wasser aus weiter Entfernung täglich für die Expedition herbeigeschafft werden mußte. Zur Zeit jener Ablagerung aber herrschte nach Reck ein feuchteres Klima; denn die Tierreste sind begraben in vulkanischen Tuffen, die im Wasser abgesetzt und geschichtet wurden[2].

---

[1] Anders ist es mit den Säugetieren, an denen die Steppe keineswegs arm ist. Aber diese wie z. B. Antilopen sind vielleicht so wenig wasserbedürftig, daß ihnen der dort starke Tau am Grase genügt. Andere mögen, weil sie sehr flüchtig sind, mit entfernt liegenden Wasserstellen auskommen können.

[2] Ob das in einem Wasserbecken erfolgte oder in einem Flusse mag dahingestellt bleiben. Jedenfalls sind einerseits keine Süßwassermollusken gefunden, was gegen ein seeartiges Wasserbecken sprechen könnte, jedoch nicht muß. Anderseits aber Reste des Wels, Silurus, was im Verein mit kleinen Geröllen für einen Fluß sprechen könnte, jedoch ebenfalls nicht sprechen muß. Sicherheit für das eine oder andere ist also nicht vorhanden. Die Tierskelette sprechen dadurch, daß (fast) kein einziges Skelett im Zusammenhang erhalten ist, dafür, daß sie längere Zeit im Wasser gelegen und getrieben haben. Aber ganz beweisend ist auch dieser Schluß nicht, sie könnten schon als Skeletteile vom Lande aus eingeschwemmt sein.

Reck schließt daraus, daß das Klima in jener Gegend seit Ablagerung dieser Tiere trockener geworden sei.

Eine solche Erfahrung ist ja in der Tat bekanntlich auch in anderen Gegenden Afrikas gemacht worden; man hat sogar (Blanckenhorn) für Ägypten eine solche »Pluvialzeit« der Glazialzeit als gleichaltrig gesetzt. Aber es ist nur noch nicht klar, ob diese Verhältnisse im Oldoway wirklich großartig, also schwerwiegend genug sind, um eine starke Klimaänderung daraus folgern zu dürfen und dadurch auf eine der Jetztzeit fernliegende Zeit zu gelangen. Genügt nicht vielleicht schon die Annahme orographischer Änderungen, um ein früheres flaches Wasserbecken, wie es ja in nicht sehr großer Entfernung noch heute dort besteht, vor gar nicht langer Zeit glaubhaft zu machen? Ich kann natürlich nicht von hier aus wagen, das entscheiden zu wollen; das kann nur an Ort und Stelle entschieden werden.

Für Recks Auffassung könnte freilich das Folgende sprechen: Die ganze Ablagerung der geschichteten vulkanischen Tuffe ist offenbar eine einheitliche; d. h. alle von Reck unterschiedenen Horizonte sind unter dem Einflusse eines und desselben Klimas entstanden. Da nun Elephas antiquus für diluviales Alter seiner Schichten spricht, so könnte man mit Recht hier an Blanckenhorns feuchtes Pluvialklima Ägyptens denken. Es müßten somit auch die oberen Tuffschichten unter einem solchen Klima sich gebildet haben; und damit wäre die ganze Ablagerung immerhin der trockenen Jetztzeit ferner gerückt und vielleicht dann diluvial wie jene Schichten Ägyptens.

Außer den genannten Säugern ist nun aber von Reck in den vulkanischen Tuffen der Serengeti-Steppe und an derselben Örtlichkeit noch ein weiterer Fund gemacht worden, der außerordentliches Aufsehen hervorgerufen hatte, ein menschliches Skelett. Auch ein solches könnte Fingerzeige für das geologische Alter dieser Tuffe geben. Zunächst durch seine Gestaltung.

Wenn man nun den Schädel dieses Oldoway-Menschen daraufhin untersucht, ob er etwa entscheidende Merkmale einer niederen Organisation erkennen läßt, wie sie diluvialen Menschen, freilich aber auch noch heutigen Australnegern, eigen sind, so zeigt sich, daß nichts Derartiges der Fall ist. Der Schädel hat keineswegs eine bemerkenswert niedrige Schädelkapsel und auch keine fliehende Stirn, wie beides für diese niedrig organisierten Schädel so typisch ist. Er hat ferner auch gar nichts von stark vorspringenden Buckeln der Superciliarbögen. Der Unterkiefer dieses Schädels besitzt ferner keine ungewöhnliche Stärke, er hat ein deutlich ausgebildetes Kinn und zeigt die Spina mentalis zum Ansatz von Zungenmuskeln. Nur darin verrät er ein wenig eine niedrigere Organisation, daß er, jedoch keine sehr

starke, Prognathie und ein entsprechend kräftiges Gebiß mit großen oberen und unteren M^3 besitzt. Indessen haben diese beiden letzteren Merkmale für die Beurteilung gerade dieses Menschen nichts zu sagen, da es ja von vornherein sicher war, daß es sich um keinen Europäer handele.

Es fehlt mithin diesem Menschenschädel vom Oldoway (fast) jedes Merkmal einer so niederen Organisation, wie sie bei heutigen Australiern und bei einem Teil der diluvialen Menschenschädel auftreten. Indessen daraus nun umgekehrt mit Sicherheit auf ein ganz jugendliches geologisches Alter dieses Menschen schließen zu wollen, wäre darum nicht berechtigt, weil wir bekanntlich auch in diluvialer Zeit bereits neben Menschenschädeln solcher niederen Organisation auch Schädel von so hochstehender Ausbildung finden, wie einen solchen heute irgendein hochstehender Europäer nur besitzen kann[1].

Es fragt sich nun weiter, ob dieser Mensch, wie Reck das meinte, gleichzeitig mit der vorhin besprochenen Säugetierfauna gelebt hat oder ob er jüngeren Alters als sie ist. Da ergibt sich die Schwierigkeit, daß Menschenknochen bekanntlich bezüglich ihres Alters oft viel stärker lügen, als Menschen das tun; nur mit dem Unterschiede, daß die Menschen in dem Falle sich ein jüngeres Alter lügnerisch zuschreiben, während die in der Erde liegenden Menschenknochen uns leicht ein höheres Alter vortäuschen, als ihnen zukommt. Das kommt daher:

Wenn ein Tier stirbt, so wird es von der Natur begraben. Es wird, soweit es nicht an der Erdoberfläche liegenbleibt und allmählich zerfällt, vom Regen in die Wasserläufe und von da in die Wasserbecken gespült und dann in den Sedimenten derjenigen Zeit begraben, in der das Tier gelebt hat. Auf solche Weise werden die Tiere der Jetztzeit in den jetzigen Sedimenten begraben, wurden die Tiere der Tertiärzeit und der Kreidezeit usw. zu tertiärer und zu kretazeischer usw. Zeit in den damaligen Sedimenten begraben. Tierknochen lügen also nie, denn sie liegen stets in ihrem Alter zukommenden Sedimenten.

Anders ist es mit dem Menschen; der wird der Regel nach von seinesgleichen begraben. Wenn daher heute in diluvialen Schichten, oder in tertiären oder in Kreideschichten ein Grab gegraben wird, dann liegt dieser heutige Mensch in diluvialen, bzw. tertiären bzw. in Kreideschichten, und sein Skelett täuscht späterhin dem Forscher vor, daß

[1] Gewisse Merkmale an den Schneidezähnen — sie haben eine schräge Abschleifungsfläche — lassen, wie Herr Kollege von Luschan hervorhob, darauf schließen, daß möglicherweise ein Inder vorliegen könnte.

hier zu diluvialer, bzw. tertiärer bzw. gar kretazeischer Zeit ein Mensch in die Schichten eingebettet worden sei. Sind freilich dem Menschen Grabgeschenke, soweit sie unzerstörbar sind, mitgegeben worden, dann ist eine solche Täuschung nicht möglich. Bei unserem afrikanischen Menschen der Serengeti-Steppe fehlt aber jede Spur eines etwaigen Grabgeschenkes.

Es läßt sich indessen auch beim Fehlen von Grabgeschenken trotzdem noch in einer späteren Epoche die Grabnatur dann erweisen, wenn das Grab in festem Gesteine gegraben wurde. In diesem Falle muß dann über dem Skelett ein Haufwerk von Stücken dieses Gesteins liegen. Dieses Merkmal versagt aber bei weicherer Beschaffenheit des Gesteins, infolge deren die Stücke desselben allmählich wieder zusammenfließen und dadurch wieder den Eindruck unverritzten Gesteins machen. Indessen wenn das Gestein zwar weich, aber sehr deutlich geschichtet war, dann kann wenigstens die Zerstörung der Schichtung über dem Skelett das Grab verraten; denn diese muß bei einem Zusammenfließen der Stücke verloren bleiben.

Der mittlere der drei Fälle scheint mir hier vorzuliegen. Das Gestein, ein vulkanischer Tuff, ist ziemlich mulmig, so daß seine etwaigen Stücke, falls es sich um ein Grab handelt, im Laufe der Zeit, wie mir scheint, wieder zusammenfließen konnten. In dieser Beziehung könnte also jede Spur einer Zerstörung des ehemaligen Zusammenhanges der Gesteinsmasse, auch jede Spur einer Grabstätte, wieder unkenntlich geworden sein.

Nun ist aber bei diesen im Wasser abgesetzten Tuffen auch noch eine Schichtung vorhanden; und wenn eine solche einmal durch Graben eines Grabes zerstört worden ist, so kann sie unmöglich im Laufe der Zeit wiederhergestellt werden, sie muß vielmehr zerstört bleiben, die Schichtung des Tuffes muß vielmehr an dieser Stelle dauernd eine Unterbrechung aufweisen. Reck betont, daß keine Unterbrechung dagewesen sei.

Es wird sich somit fragen, ob die Schichtung der Tuffe so scharf und deutlich ist, daß man eine Unterbrechung derselben mit zweifelloser Sicherheit sofort erkennen muß, so daß man den Finger auf die Stelle legen kann, an der die Schichtung hier plötzlich aufhört, dort jenseits wieder einsetzt. So viel ich geschichtete vulkanische Tuffe in der Vorstellung habe, ist indessen bei diesen die Schichtung nicht in dem Maße scharf und deutlich wie z. B. bei Kalksteinen. Es scheint mir vor allem aber nicht ganz leicht, beim Ausgraben eines Skeletts diese Verhältnisse mit Sicherheit festzustellen, wenn man an einem Bergabhange, aus dem ein Knochen des Skeletts (Schädel) herausschaut, in Form eines oben offenen Stollens in den Abhang hinein-

gehen muß. Es ist zu bedauern, daß nicht eine Anzahl von Photographien gemacht worden ist, auf denen die Schichtung über dem Skelett deutlich zu erkennen ist. In diesem Falle würde jeder Zweifel an Recks Beobachtung und Bestreitung der Grabnatur sofort verstummen müssen. Bei dem Fehlen solcher handgreiflichen Beweise wird man, in Anbetracht der obenerwähnten Schwierigkeiten der Feststellung doch sich fragen müssen, ob nicht ein Irrtum seiner Beobachtung zugrunde liege. Aber beweisen wird man das von hier aus nicht können.

Während also in dem bisher Gesagten keine entscheidenden Beweise dafür oder dagegen vorhanden sind, daß hier ein Grab vorliegen könnte, scheint ein anderer Umstand stark dafür zu sprechen, daß wir doch den Inhalt eines Grabes vor uns haben. Reck war der Ansicht, daß der Betreffende, ebenso wie die anderen Säuger, in dieses Wasser geraten und in demselben ertrunken, vielleicht auch vorher schon durch einen starken vulkanischen Aschenregen getötet worden sei. Die Frage ist so wichtig — handelt es sich doch um den ersten angeblich fossilen Menschen aus Afrika — daß sie unter allen Gesichtspunkten beleuchtet werden muß, zumal da die Betrachtung ganz allgemein für alle solchen fraglichen Fälle gilt.

Man denke sich eine menschliche Wasserleiche. Der durch Fäulnisgase aufgeblähte Leib wird zur Schwimmblase, die das Ganze trägt. Da die Wirbelsäule, Schulterblatt und Becken die dorsale Seite schwerer machen als die ventrale, so ist es wohl das wahrscheinlichste, daß der Leichnam mit der ventralen Seite nach oben liegend treibt. Die Extremitäten[1] und der Kopf hängen hinab und verlegen dadurch den Schwerpunkt des Fahrzeuges in die Tiefe, so daß dieses eine stabile Lage hat.

Es ist jedoch auch denkbar, daß der Körper mit dem Leib nach unten schwimmt, da in dieser Stellung die Extremitäten, besonders die Beine, noch tiefer als in jener hinabhängen und so die Lage trotzdem stabil machen können.

Gleichviel nun welche der beiden Lagen stattfindet, immer werden die Extremitäten hinabhängen, folglich zuerst auf den Boden aufstoßen müssen, sobald der Leichnam endlich hinabsinkt. Dabei werden sie, speziell kommen hier die Beine in Betracht, in den Gelenken einknicken können, sobald die Strömung den Rumpf zu den Beinen hintreibt. Wenn dagegen die Strömung den Rumpf von den Beinen

[1] Bei all diesen Betrachtungen ist natürlich vorausgesetzt, daß die Leichenstarre durch den Fäulnisprozeß bereits überwunden ist und daß noch kein Körperglied abgefallen ist.

wegtreibt, also mit dem Kopf voran, dann wird die Lage der Beine eine gestreckte werden können.

Im ersteren Falle sind zwei Möglichkeiten gegeben: Treibt der Körper auf dem Rücken liegend, so werden die Unterschenkel unter die Oberschenkel geknickt werden können. Treibt der Körper auf dem Bauche liegend, so werden sie **unter** dem Bauche liegend geknickt werden können. Schwerlich aber werden sie die Lage erhalten, die sie bei dem Oldoway-Skelett haben, nämlich geknickt **auf** dem Bauche liegend.

Diese letztere Lage der Beine am Oldoway-Skelett deutet darauf hin, daß man den Toten, in Hockerstellung die Beine an den Leib gedrückt, begraben hat, wobei man ihn, den Rücken nach unten, auf die Seite legte, wie das bei Hockergräbern Sitte ist[1].

Fraglich bleibt hier aber doch noch der Umstand, daß, wie Reck geltend macht, das Grab dann ja 3—4 Meter tief sein würde; und so tief macht man kein Grab. Gegenwärtig lag freilich das Skelett nicht mehr so tief unter der Erdoberfläche, weil die obere Lage erodiert ist. Aber Reck gibt als sicher an, daß diese Erosion erst seit verhältnismäßig kurzer Zeit erfolgt sein kann, und meint, daß das Grab sicher älter als diese Erosion sein müsse[2]; denn seit die Serengeti-Steppe so dürr ist wie heute — und das scheint ihm (s. S. 1175) schon seit längerer Zeit der Fall zu sein —, leben und lebten keine eingeborenen Menschen in ihr, die einen Toten hätten begraben können.

Indessen auch wenn wirklich hier der Inhalt eines Grabes vorliegen sollte, so wäre damit noch gar nichts über die Zeit erwiesen, in der das Grab gemacht worden ist. Ein Grab kann in jüngster Zeit gemacht sein; es kann aber auch in diluvialer Zeit von diluvialen Menschen gemacht sein. Vorausgesetzt also, daß in diluvialer Zeit bereits Menschen in der heutigen Serengeti-Steppe gelebt haben, könnte dieses Grab — das diluviale Alter der dortigen Fauna einmal als gesichert angenommen — auch in diluvialer Zeit gemacht worden sein, so daß der Mensch gleichalterig mit dem diluvialen Elefanten sein könnte, von dem ich vorhin gesprochen habe. Daß die moderne Gestaltung des Schädels nicht notwendig gegen sein diluviales Alter sprechen muß, ist ja S. 1176 dargelegt worden.

---

[1] Falls man den Menschen lebend mit gefesselten Füßen gewaltsam in das Wasser geworfen hätte, so würde man die Beine in gestrecktem Zustande unten gefesselt haben, nicht aber die Beine an den Leib gepreßt, wozu sehr viel mehr Bindematerial gehört.

[2] Die nähere Schilderung der Lage muß, um volles Verständnis des Gesagten für den Leser zu erzielen, in der Reckschen Arbeit eingesehen werden.

Für ein diluviales Alter dieses Skelettes, gleichviel ob es Inhalt eines Grabes ist oder nicht, spricht nun aber, meine ich, nicht der Erhaltungszustand. Dieser ist nämlich so wenig das, was man eigentlich »versteinert« nennt, daß man, allein auf dieses Merkmal hin, kaum an einen fossilen Zustand denken möchte. Dazu kommt auch, daß im Vergleich mit anderen Knochen des Oldoway das Menschenskelett weniger »versteinert« ist als diese Tierknochen, speziell die des ausgestorbenen Elefanten, dem wir doch, wie oben (S. 1173) besprochen, mit Dietrich ein diluviales Alter zugestehen müssen[1]. Freilich hebt Reck als Zeichen des Alters die Manganflecken auf den Menschenknochen hervor. Aber ist das beweisend?

Das Skelett ist also — so scheint mir — dem Erhaltungszustande nach viel jünger als der Elefant und auch jünger als andere Säugerknochen im Oldoway.

Ein weiteres Hilfsmittel, den fossilen Zustand eines Knochens zu erkennen, liegt in dem durch chemische Untersuchung geführten Nachweise des Gehaltes an organischer Substanz. Im allgemeinen muß natürlich dieser Gehalt mit dem höheren geologischen Alter abnehmen, so daß ein dem Gehalte der lebenden Knochen ähnlich hoher Gehalt an organischer Substanz in dem Oldoway-Skelette gegen diluviales Alter sprechen würde. Aber auch diese Abnahme der organischen Substanz ist bei gleichalten Knochen an verschiedenen Orten sicher verschieden stark, da er abhängt einmal von der Tiefenlage der Knochen in der Erde, zweitens von dem Wassergehalte der Schichten, endlich von der Festigkeit, Widerstandsfähigkeit der Knochen. Letztere ist schon bei den verschiedenen Knochen eines und desselben Skelettes verschieden. Sie ist es aber in noch viel höherem Grade bei den Knochen ganz verschiedener Tiere.

Die Bestimmung des Gehaltes der Knochen an organischer Substanz könnte daher nur einen sehr ungefähren, zum Teil unsicheren Anhalt für die Erkennung ihres geologischen Alters geben. An dem Oldoway-Skelett ist sie bisher noch nicht erfolgt.

Zusammenfassung.

1. Die von Kattwinkel in der Serengeti-Steppe gefundene kleine Säugerfauna könnte anscheinend durch gewisse Beziehungen zu der von Pikermi für ein pliozänes, vielleicht gar unterpliozänes Alter der

[1] Indessen verhalten sich die Tierknochen der Oldoway-Tuffe in ihrem Versteinerungsgrade verschieden an verschiedenen Stellen, was wohl mit verschiedenem Grade der Zersetzbarkeit des Tuffes und seiner Durchlässigkeit für Wasser an verschiedenen Stellen zusammenhängen mag.

vulkanischen Tuffschichten sprechen. Hippopotamus indessen spräche höchstens für mittelpliozän, kommt aber in Afrika auch in diluvialen und jüngeren Schichten und noch lebend vor, hat also keine Beweiskraft für Pliozän. Mastodon, in Europa zwar tertiären Alters, hat in Nordamerika noch in diluvialer, auch in Südafrika noch in pleistozäner Zeit gelebt, kann folglich ebenfalls nicht beweisend für ein pliozänes Alter sein. Hipparion ist in Nordafrika noch in den allerjüngsten pliozänen, in Nordamerika sogar in diluvialen Schichten gefunden worden, ist somit gleichfalls nicht sicherer Beweis für pliozänes Alter. Nur Helladotherium, aus dem Unterpliozän von Pikermi und von Maragha in Persien bekannt, spricht für unterpliozänes Alter — soweit eben jetzige Erfahrung reicht. Jene erstgenannten Formen aber zeigen, in wie hohem Grade Vorsicht hier geboten ist.

2. Auch ganz allgemein ergibt sich die Notwendigkeit, von der Annahme abzusehen, daß als Leitformen geltende Fossilien von weiter Verbreitung an allen Orten ihres Auftretens zu gleicher Zeit ausgestorben bzw. verschwunden sein müssen. Das ist offenbar häufig keineswegs der Fall gewesen.

3. Elephas antiquus Recki Dietr. spricht für (mittel-) diluviales Alter der von Reck gefundenen Fauna.

4. Die anderen mit Elephas zusammen vorkommenden Säuger scheinen dagegen eher für ein jüngeres, gar alluviales Alter zu sprechen; doch sind sie noch nicht genügend untersucht.

5. Diese Widersprüche könnten sich lösen, wenn entweder die vulkanischen Tuffe der Serengeti-Steppe wirklich in der pliozänen, diluvialen und alluvialen Zeit abgelagert worden wären; ein so langer Zeitraum aber ist nicht allzu wahrscheinlich. Oder wenn jene unter 4. erwähnten Formen trotz ihrer anscheinenden Gleichheit mit rezenten Arten dennoch diluvialen Alters sein sollten. Oder wenn Elephas antiquus in Afrika auch noch in alluviale Zeit überlebend gewesen wäre.

6. Ganz allgemein ergibt sich hier die Frage, ob wirklich so viele diluviale Arten von Säugern von den heute noch lebenden spezifisch unterschieden sind, als man das meint.

7. Das Menschenskelett scheint mir nicht fossil, sondern Inhalt eines jüngeren Grabes zu sein. Von den mehrfachen Beweisgründen für eine solche Ansicht sind indessen hier verschiedene nicht zweifellos beweisend. Nur die geknickte Lage der Beine auf dem Bauche und der geringe Versteinerungsgrad sprechen sehr für ein Grab und für ein jugendliches Alter des Grabes.

Über Diffusion und Absorption in der Sonnenatmosphäre.

Von K. SCHWARZSCHILD.

(Vorgelegt von Hrn. EINSTEIN am 5. November 1914 [s. oben S. 979].)

§ 1.

Die Absorptions- und Emissionslinien in den Spektren der Sonne und der Sterne sind außerordentlich verschieden in ihrem Aussehen. Von Linien, die sich nur als geringe Abnahme der Intensität des kontinuierlichen Spektrums über einige hundertstel Angström zu erkennen geben, gibt es alle Übergänge zu Linien von mehreren Ångström Breite, in deren Mitte die Intensität auf 20 Prozent oder weniger der Intensität des benachbarten kontinuierlichen Spektrums absinkt. Auch kommen die verschiedensten Typen der Linienumkehrung vor. Man hat sich in der Astrophysik bisher meist mit recht rohen qualitativen Angaben und Erklärungen des verschiedenen Verhaltens der Spektrallinien begnügt. Nur in einer bedeutsamen Arbeit von Hrn. A. SCHUSTER[1] sind quantitative Überlegungen gegeben. Hr. SCHUSTER setzt voraus, daß die Gase einer Sternatmosphäre erstens strahlen und absorbieren gemäß dem KIRCHHOFFschen Gesetz, und daß sie zweitens gleichzeitig das Licht streuen (»diffundieren«), so wie es nach RAYLEIGH die Moleküle unserer Luft tun. Je nach dem Temperaturanstieg bei dem Eindringen in die Sternatmosphäre und je nach dem Verhältnis von Absorptionsvermögen und Streuungsvermögen der Gase ergibt sich sehr verschiedenes Aussehen der Spektrallinien mit mannigfachen Analogien zu den bei Sternen beobachteten Erscheinungen. Einige Messungen des Intensitätsverlaufs in Spektrallinien von Sternen hat Hr. C. F. BOTTLINGER[2] ausgeführt.

Für den weiteren Fortschritt scheint es wichtig, ein genaueres Studium der Linien im Sonnenspektrum auszuführen, da man hier außer der Lichtfülle noch den großen Vorteil hat, verschiedene Punkte der Sonnenscheibe und damit verschiedene Emissionswinkel des austretenden Lichtes getrennt studieren zu können, während man bei Sternen nur das Gesamtlicht aller Punkte ihrer Scheibe gleichzeitig erhält.

---

[1] Astrophysical Journal vol. 21 (1905).

[2] Astr. Nachr. Bd. 195.

Vergleicht man das Spektrum der Sonnenmitte mit dem der Nachbarschaft des Sonnenrandes, so ist der erste Eindruck der weitgehendster Übereinstimmung. Man sieht sofort, daß eine ältere Annahme nicht richtig sein kann, welche eine nur absorbierende, nicht strahlende Atmosphäre um die leuchtende Sonnenatmosphäre voraussetzte. Denn bei dieser Annahme müßten die Fraunhoferschen Linien nach dem Rande zu wegen der Zunahme der Schichtdecke immer tiefer und breiter erscheinen.

Was man bei näherer Vergleichung des Spektrums von Sonnenmitte und Sonnenrand unter Verwendung größerer Dispersion konstatiert, ist mit wenig Ausnahmen das Umgekehrte, eine gewisse Abnahme der Tiefe der Fraunhoferschen Linien.

Wir wollen uns nun auf den Standpunkt des Hrn. Schuster stellen und eine gemäß dem Kirchhoffschen Gesetz strahlende und absorbierende, zugleich das Licht streuende Atmosphäre voraussetzen. Wir denken diese Atmosphäre einem schwarzen, mithin unter allen Emissionswinkeln gleich hell strahlenden Körper bestimmter Temperatur, der »Photosphäre«, überlagert. Hr. Schuster hat sich darauf beschränkt, mit einer gewissen Annäherung den gesamten Energietransport durch eine solche Atmosphäre zu behandeln. Wir wollen hier die Energie trennen nach der Richtung, in welcher sie die Atmosphäre durchsetzt, und fragen, wie die austretende Strahlung vom Emissionswinkel abhängt. Das gibt uns an, wie die Intensität auf der Sonnenscheibe verteilt sein wird.

Es soll die Oberfläche der Photosphäre wie die Schichtung der darüberliegenden Gase als eben vorausgesetzt werden. Bei der geringen Höhe der Sonnenatmosphäre im Verhältnis zu ihrem Radius kann das nur in unmittelbarer Nähe des Randes merkliche Fehler geben. Auch soll die Strahlenbrechung in der Sonnenatmosphäre vernachlässigt werden.

Die wirkliche Durchführung der Rechnung wird in dieser Arbeit nur für die beiden extremen Fälle erfolgen, daß entweder nur Absorption und Emission besteht ohne Streuung oder nur Streuung ohne Absorption und Emission.

Eine rohe Messung der Intensitätsverteilung, deren Resultat weiterhin mitgeteilt wird, habe ich an den breitesten Linien im Sonnenspektrum, den Kalziumlinien H und K für die Mitte wie für die Nähe des Randes ausgeführt.

§ 2.

Man betrachte eine homogene, von zwei parallelen Ebenen begrenzte Gasmasse. Die x-Achse möge senkrecht zu den Begrenzungsebenen liegen. Für die Begrenzungsebenen sei $x = 0$ und $x = H$. Auf der »unteren« Seite $x = H$ möge die Strahlung eines schwarzen Körpers eintreten. Die Gasmasse emittiere, absorbiere und diffundiere das Licht. Unser Problem ist, festzustellen, wieviel Strahlung in jeder Richtung aus der anderen »oberen« Begrenzungsebene $x = 0$ austritt. Für Emission und Absorption des Gases werde das KIRCHHOFFsche Gesetz als gültig vorausgesetzt. Für die Streuung werde angenommen, daß ein bestimmter Bruchteil des auf ein Volumenelement aus irgendeiner Richtung auffallenden Lichtes nach allen Seiten gleichmäßig verteilt wird. Nach RAYLEIGHS Theorie der Streuung des Lichts an kleinen Teilchen schwankt der Streuungskoeffizient für verschiedene Richtungen allerdings im Verhältnis 1 : 2. Diese Schwankung macht aber wenig aus, solange die Strahlung wenigstens aus einer Hälfte der ein diffundierendes Teilchen umgebenden Kugel einigermaßen gleichförmig erfolgt, wie das bei den im folgenden zu behandelnden Problemen in der Hauptsache zutrifft.

Wenn zur Ebene $x = H$ an allen Punkten schwarze Strahlung derselben Temperatur eintritt, wie wir das voraussetzen wollen, so wird der ganze Vorgang von den anderen Koordinaten y und z unabhängig. Die Strahlung in irgendeinem Punkt des Gases in irgendeiner Richtung hängt nur ab von der x-Koordinate des Punktes und dem Winkel i, den diese Richtung mit der x-Achse macht. Die mathematische Formulierung des Problems wird dann folgende.

Wir fassen die Strahlung einer bestimmten Wellenlänge ins Auge.

Wir zählen i nur von 0 bis 90° und unterscheiden absteigende und aufsteigende Strahlung. Es sei die Strahlung des senkrecht zum Strahl stehenden Flächenelements ds im Punkte der Koordinate x für den in Richtung i liegenden Raumwinkel $d\omega$:

$a(x, i)\, d\omega\, ds$ für die absteigende Strahlung,
$b(x, i)\, d\omega\, ds$ für die aufsteigende Strahlung.

Auf die Strecke $d\epsilon$ möge durch Absorption von der Strahlung a verlorengehen der Betrag: $\varkappa a d\epsilon$ und durch Streuung analog: $\sigma a d\epsilon$. $\varkappa$ soll Absorptionskoeffizient, σ Diffusionskoeffizient heißen.

Zwischen den beiden Ebenen x und $x + dx$ geht dann z. B. von der absteigenden Strahlung $a(x, i)$ verloren

durch Absorption: $\varkappa a(x, i)\, dx \sec i$,
durch Diffusion: $\sigma a(x, i)\, dx \sec i$.

Die Emission der Volumeneinheit des Gases habe den Betrag $4\pi\varkappa E$, wo E die Kirchhoffsche Funktion sein wird, wenn die Strahlung des Gases dem Kirchhoffschen Gesetz folgt.

Die vom Volumenelement dv gestreute Strahlung ergiebt sich durch eine Betrachtung analog der Planckschen[1] zu:

$$dv\cdot\sigma\left[\int a(x,i)dw+\int b(x,i)dw\right]$$

jedes Integral über die betreffende Halbkugel integriert. Das läßt sich in Rücksicht auf die Symmetrie des Problems zur x-Axe umschreiben in:

$$2\pi dv\cdot\sigma\left[\int_0^{\frac{\pi}{2}} a(x,i)\sin i di+\int_0^{\frac{\pi}{2}} b(x,i)\sin i di\right].$$

Zur Abkürzung sei:

$$A=\int_0^{\frac{\pi}{2}} a(x,i)\sin i di+\int_0^{\frac{\pi}{2}} b(x,i)\sin i di, \tag{1}$$

so daß $2\pi\sigma A$ die von der Volumeneinheit gestreute Strahlung bezeichnet. In den Kegel $d\omega$ entsendet das Volumenelement dv bei nach allen Seiten gleichmäßiger Streuung hiernach den Betrag:

$$2\pi dv\sigma A\cdot\frac{d\omega}{4\pi}=dv\,d\omega\frac{\sigma A}{2}.$$

Die gesamte durch Emission und Diffusion von der Volumeneinheit in den Kegel $d\omega$ entsandte Strahlung wird:

$$d\omega\,dv\left[\sigma\frac{A}{2}+\varkappa E\right].$$

Wir werden setzen:

$$\frac{\sigma A}{2}+\varkappa E=J, \tag{2}$$

so daß $4\pi J$ die »Ergiebigkeit« der Volumeneinheit an Strahlung überhaupt (emittierte und diffundierte zusammengerechnet) ist. Betrachtet man nun die Änderung der Strahlung beim Übergang zwischen zwei Nachbarebenen x und $x+dx$, so erhält man leicht:

$$\begin{aligned}\cos i\frac{da}{dx}&=-(\varkappa+\sigma)a+J,\\ \cos i\frac{db}{dx}&=(\varkappa+\sigma)b-J.\end{aligned} \tag{3}$$

J ist eine Funktion nur von x, während a und b von x und i abhängen.

[1] Wärmestrahlung, 1. Auflage, § 22.

Das sind die **Differentialgleichungen** des Problems.

Die **Grenzbedingungen** sind folgende: Für $x=0$ findet keine Strahlung von oben statt, da sich oberhalb $x=0$ keine strahlende Materie befindet, es ist also dort $a=0$. Für $x=H$ ist die aufwärts gehende Strahlung die des unter dem Gas liegenden schwarzen Körpers: $b=B$, wo B den, von i unabhängigen, der KIRCHHOFFschen Funktion zu entnehmenden Betrag hat. Die Grenzbedingungen sind also:

$$x=0:\ a=0, \tag{4}$$

$$x=H:\ b=B. \tag{5}$$

Unser Problem ist ein bestimmtes, wenn die Temperatur des einstrahlenden Körpers und damit B, sowie die Temperatur des Gases an jeder Stelle und damit E als Funktion von x gegeben ist.

Es ist bisher immer nur von einer homogenen Atmosphäre die Rede gewesen. Es ist aber unmittelbar ersichtlich, daß die ganze vorstehende Ableitung auch für eine inhomogene Atmosphäre gilt, wenn man unter x nicht die Entfernung von der oberen Grenze, sondern die über der betreffenden Stelle liegende Luftmasse versteht.

Das Problem läßt sich sofort auf eine lineare Integralgleichung zurückführen. Die Integration von (3) in Rücksicht auf die Grenzbedingungen (4) und (5) gibt:

$$a(x,i)=\int_0^x J(\xi)\,e^{(\kappa+\sigma)(\xi-x)\sec i}\,d\xi\,\sec i, \tag{6}$$

$$b(x,i)=B\,e^{(\kappa+\sigma)(x-H)\sec i}+\int_x^H J(\xi)\,e^{(\kappa+\sigma)(x-\xi)\sec i}\,d\xi\,\sec i. \tag{7}$$

Hiermit kann man die Diffusion A des Volumenelements berechnen. Man erhält aus (1) durch Vertauschung der Integrationsordnung:

$$A=\int_0^x d\xi\,J(\xi)\int_0^{\frac{\pi}{2}} di\,\mathrm{tg}\,i\,e^{(\kappa+\sigma)(\xi-x)\sec i}+\int_x^H J(\xi)\,d\xi\int_0^{\frac{\pi}{2}} di\,\mathrm{tg}\,i\,e^{(\kappa+\sigma)(x-\xi)\sec i}$$

$$+B\int_0^{\frac{\pi}{2}} di\,\sin i\,e^{(\kappa+\sigma)(x-H)\sec i}.$$

Setzt man:

$$\sec i=\eta,$$

so kann man hierfür schreiben:

$$A=B\int_1^\infty \frac{d\eta}{\eta^2}\,e^{(\kappa+\sigma)(x-H)\eta}+\int_0^H d\xi\,J(\xi)\int_1^\infty \frac{d\eta}{\eta}\,e^{-(\kappa+\sigma)|\xi-x|\eta},$$

oder wenn man den **Integrallogarithmus** einführt:

$$K(z) = \int_1^\infty \frac{d\eta}{\eta} e^{-z\eta} \tag{8}$$

und seine Analoga:

$$K_n(z) = \int_1^\infty \frac{d\eta}{\eta^{n+1}} e^{-z\eta}, \tag{9}$$

so ist:

$$A = B \cdot K_1 [(\varkappa + \sigma)(H - x)] + \int_0^H d\xi J(\xi) K[(\varkappa + \sigma)|\xi - x|].$$

Nach (1) folgt daraus die Integralgleichung für die Ergiebigkeit $J(x)$[1]:

$$J(x) - \frac{\sigma}{2} \int_0^H d\xi J(\xi) K[(\varkappa + \sigma)|\xi - x|] = \varkappa E + \frac{\sigma}{2} B K_1 [(\varkappa + \sigma)(H - x)].$$

§ 3. Grenzfall der reinen Absorption.

Fällt die Diffusion fort, ist $\sigma = 0$, so gibt die Integralgleichung:

$$J(x) = \varkappa E$$

und nach (7) wird an der äußeren Grenze des Gases, für $x = 0$:

$$b(0, i) = B e^{-\varkappa H \sec i} + \int_0^H \varkappa E e^{-\varkappa \xi \sec i} d\xi \sec i.$$

Es verlaufe E als Funktion von x linear gemäß der Formel:

$$E(x) = a + bx, \tag{10}$$

und es sei:

$$B = a + bH,$$

damit an der Photosphäre selbst das Gas die Temperatur der Photosphäre hat. Dann liefert die Integration:

$$b(0, i) = a + \frac{b \cos i}{\varkappa}(1 - e^{-\varkappa H \sec i}) \tag{11}$$

Hiermit ist eine genügende Übersicht möglich.

§ 4. Grenzfall der reinen Diffusion.

Im Fall der reinen Diffusion ($\varkappa = 0$) wird die Integralgleichung:

$$J(x) - \frac{\sigma}{2} \int_0^H d\xi J(\xi) K[\sigma|\xi - x|] = \frac{\sigma}{2} B K_1 [\sigma(H - x)].$$

---

[1] Die Integralgleichung und ihre Behandlung für kleine Atmosphärendicken H, wie sie für die Erdatmosphäre in Frage kommen, finden sich bei L. V. King, London Roy. Phil. Soc. Transactions. 1913.

Führt man folgende neue Variable ein:

$$x' = \sigma x, \quad \xi' = \sigma\xi, \quad H' = \sigma H,$$
$$J'(x') = \frac{J(x)}{\sigma B}, \quad a'(x', i) = \frac{a(x, i)}{B}, \quad b'(x', i) = \frac{b(x, i)}{B} \tag{12}$$

und erlaubt sich, da eine Verwechslung nicht zu befürchten ist, die Akzente der neuen Variable gleich wieder wegzulassen, so geht die Integralgleichung über in:

$$J(x) - \frac{1}{2}\int_0^H d\xi J(\xi) K[\xi - x] = \frac{1}{2} K_1[H - x]. \tag{13}$$

Es ist hier $J(x)$ eine Funktion, die außer von x nur von H (dem früheren σH), also von der »effektiven« Dicke der diffundierenden Atmosphäre, abhängt. Für die austretende Strahlung folgt nach (7) in den neuen Variablen:

$$b(0, i) = e^{-H \sec i} + \int_0^H J(\xi) e^{-\xi \sec i} d\xi \sec i. \tag{14}$$

Die SCHUSTERsche Näherung. Die Streuung der Strahlung in einer bestimmten Schicht des Gases hängt natürlich sehr stark von der Richtung ab, in der die Strahlung die Schicht durchsetzt, wie sich das in dem Faktor $\cos i$ der Differentialgleichungen (3) auf der linken Seite ausprägt. Hr. SCHUSTER hat in der erwähnten Arbeit noch davon abgesehen, die Strahlung verschiedener Richtung zu trennen und einen durchschnittlichen Absorptions- und Streuungskoeffizienten für die gesamte, jede Schicht durchsetzende Strahlung eingeführt. Dabei wird der Koeffizient für die absteigende und für die aufsteigende Strahlung gleich angesetzt, was natürlich unstreng ist, da die absteigende Strahlung anders über die verschiedenen Richtungen i verteilt ist als die aufsteigende. Namentlich dicht unter der Oberfläche des Gases scheint dieser Ansatz sehr fehlerhaft werden zu müssen, da dort die absteigende Strahlung fast nur aus horizontaler Richtung kommen kann, also einen sehr hohen durchschnittlichen Absorptions- und Diffusionskoeffizienten hat, während die aufsteigende Strahlung gleichmäßiger über alle Richtungen verteilt ist und daher weniger absorbiert und diffundiert wird. Wir wollen alsbald prüfen, wie sich der Fehler numerisch stellt.

Wir führen zunächst den SCHUSTERschen Ansatz speziell für den Fall reiner Diffusion in folgender Weise durch.

Für $\varkappa = 0$ und mit dem unter (12) angegebenen Koordinatenwechsel lauten die Gleichungen (1) (2) (3)

$$\cos i \frac{d}{dx} a(x,i) = -a(x,i) + J \qquad J = \frac{1}{2}\int_0^\pi a(x,i)\sin i\,di + \frac{1}{2}\int_0^\pi b(x,i)\sin i\,di$$
$$\cos i \frac{d}{dx} b(x,i) = \quad b(x,i) - J$$

mit den Grenzbedingungen:

Für $x = 0$: $a = 0$; für $x = H$: $b = 1$.

Aus den beiden Differenzialgleichungen folgen durch Multiplikation mit $\sin i di$ und Integration von 0 bis π, wenn wir die Abkürzungen einführen:

$$\int_0^\pi a(x,i)\sin i\,di = \bar{a}(x), \quad \int_0^\pi b(x,i)\sin i\,di = \bar{b}(x),$$
$$\int_0^\pi a(x,i)\cos i\sin i\,di = \bar{\bar{a}}(x), \quad \int_0^\pi b(x,i)\cos i\sin i\,di = \bar{\bar{b}}(x),$$

die folgenden Beziehungen:

$$J = \frac{\bar{a}(x) + \bar{b}(x)}{2},$$

$$\frac{d\bar{\bar{a}}(x)}{dx} = \frac{1}{2}\bar{b}(x) - \frac{1}{2}\bar{a}(x), \quad \frac{d\bar{\bar{b}}(x)}{dx} = \frac{1}{2}\bar{b}(x) - \frac{1}{2}\bar{a}(x).$$

Dies sind noch strenge Gleichungen. Wir ermitteln nun eine genäherte Beziehung zwischen $\bar{a}$ und $\bar{\bar{a}}$ sowie zwischen $\bar{b}$ und $\bar{\bar{b}}$, indem wir diese Integrale auswerten unter der Voraussetzung, daß die Strahlung im Innern des Gases nach allen Richtungen gleichförmig verteilt sei, daß $a(x, i)$ und $b(x, i)$ unabhängig von i gleich $a(x)$ bzw. $b(x)$ seien. Es folgt dann:

$$\bar{a}(x) = a(x), \quad \bar{\bar{a}}(x) = \frac{1}{2}a(x), \quad \bar{b}(x) = b(x), \quad \bar{\bar{b}}(x) = \frac{1}{2}b(x),$$

mithin: $$\bar{\bar{a}}(x) = \frac{1}{2}\bar{a}(x), \quad \bar{\bar{b}}(x) = \frac{1}{2}\bar{b}(x).$$

Das gibt für $\bar{a}$ und $\bar{b}$ die Differentialgleichungen:

$$\frac{d\bar{a}}{dx} = \bar{b} - \bar{a}, \quad \frac{d\bar{b}}{dx} = \bar{b} - \bar{a}$$

mit den Grenzbedingungen: Für $x = 0$: $\bar{a} = 0$; für $x = H$: $\bar{b} = 1$.

Die einfache Integration liefert:

$$\bar{a} = \frac{x}{H+1} \qquad \bar{b} = \frac{1+x}{H+1}$$

und damit:

$$J = \frac{x + 0.5}{H + 1} \tag{15}$$

und durch Ausführung des Integrals (14):

$$b(0, i) = \frac{0.5 + \cos i}{H + 1} + e^{-H \sec i} \frac{0.5 - \cos i}{H + 1}. \tag{16}$$

Dies ist die SCHUSTERsche Näherung.

Die Korrektion der SCHUSTERschen Näherung. Wir wollen nun die strenge Lösung unserer Integralgleichung in der Form suchen:

$$J(x) = \frac{0.5 + x + L(x)}{H + 1}, \tag{17}$$

so daß also $L(x)/H + 1$ die Korrektion der SCHUSTERschen Näherung ist. Will man diesen Ausdruck in die Integralgleichung einführen, so bedarf man der Kenntnis folgender beider Integralformeln:

$$\int_0^H d\xi\, K|\xi - x| = 2 - K_1(x) - K_1(H - x), \tag{18}$$

$$0 < x < H$$

$$\int_0^H d\xi\, \xi K|\xi - x| = 2x + K_2(x) - K_2(H - x) - H K_1(H - x), \tag{19}$$

die sich leicht durch Einführung des Integrals (8) für den Integrallogarithmus und Vertauschung der Integrationsfolge ergeben.

Mit Benutzung dieser Formeln findet man, daß $L(x)$ folgender Integralgleichung genügt:

$$L(x) - \frac{1}{2}\int_0^H L(\xi) K|\xi - x|\, d\xi = \frac{2K_2(x) - K_1(x)}{4} - \frac{2K_2(H - x) - K_1(H - x)}{4}. \tag{20}$$

Bevor wir den Verlauf von $L(x)$ numerisch bestimmen, wollen wir einige Grenzbetrachtungen anstellen.

Die auf der linken Seite der Integralgleichung stehende Operation wollen wir zur Abkürzung mit F, die rechts stehende gegebene Funktion von x mit $G(x)$ bezeichnen, so daß z. B. die Integralgleichung (13) lautet:

$$F\{J(x)\} = G(x), \quad G(x) = \frac{1}{2} K_1(H - x).$$

Es ergeben sich der Reihe nach folgende Sätze:

1. Aus $G(x) = 0$ folgt $J(x) = 0$. Denn: Man nehme an, $J(x)$ sei irgendwo > 0 und $\bar{x}$ die Stelle des Maximums von $J(x)$, dann wäre

$$F\{J(\bar{x})\} = J(\bar{x}) - \frac{1}{2}\int_0^H d\xi J(\xi) K|\xi - \bar{x}| > J(\bar{x})\left[1 - \frac{1}{2}\int_0^H d\xi K|\xi - \bar{x}|\right].$$

Nun ist nach Formel (18):

$$1 - \frac{1}{2}\int_0^H d\xi K|\xi - x| = \frac{1}{2}K_1(x) + \frac{1}{2}K_1(H-x) > 0.$$

Demnach wäre auch $F\{J(\bar{x})\} > 0$. Da das unserer Forderung widerspricht, kann $J(x)$ nirgends positiv sein, ebensowenig negativ, ist also Null. In der Ausdrucksweise der Theorie der Integralgleichungen heißt dies: der Parameterwert $\frac{1}{2}$ unserer Integralgleichung ist kein Eigenwert.

2. Ist für alle Werte von x: $G(x) > 0$, so ist auch für alle Werte von x: $J(x) > 0$. Wäre nämlich $J(x)$ irgendwo negativ, so könnte man den größten negativen Wert nehmen und, wie oben, beweisen, daß an dieser Stelle auch $G(x)$ negativ sein müßte.

Daraus folgt weiter: Hat man die Lösungen zweier Integralgleichungen:

$$F\{J(x)\} = G(x) \quad \text{und} \quad F\{J'(x)\} = G'(x)$$

und es ist für alle x: $G'(x) > G(x)$, so ist auch für alle x: $J'(x) > J(x)$.

3. Wir betrachten speziell $L(x)$. Aus (20) folgt unmittelbar:

$$F\{L(x)\} + F\{L(H-x)\} = 0$$

oder

$$F\{L(x) + L(H-x)\} = 0.$$

Daraus folgt nach Satz 1:

$$L(x) + L(H-x) = 0. \tag{21}$$

Die Funktion L ist mithin eine ungerade Funktion von $x - \frac{H}{2}$.

4. Wir bestimmen eine obere Grenze für den Absolutwert von $L(x)$.

Es sei zunächst bemerkt, daß $K_1(x)$ und $K_2(x)$ positive, mit wachsendem x ständig abnehmende Größen sind und daß, wie man leicht durch partielle Integrationen der Integralausdrücke nachweist:

$$2K_2(x) \geqq K_1(x) \geqq K_2(x). \tag{22}$$

Es ist also auch die Funktion $2K_2(x) - K_1(x)$ stets positiv.

Für $x = 0$ wird $K_1(x) = 1$, $K_2(x) = \frac{1}{2}$. Für wachsendes x wird: $K_2(x) = K_1(x) = \frac{e^{-x}}{x}$.

Nun möge $L(x)$ seinen größten positiven Wert an der Stelle $x = \bar{x}$ erhalten. Dann ist:

$$L(\bar{x}) = \frac{2\,K_2(\bar{x}) - K_1(\bar{x})}{4} - \frac{2\,K_2(H-\bar{x}) - K_1(H-\bar{x})}{4} + \frac{1}{2}\int_0^H L(\xi)\,K|\xi-\bar{x}|\,d\xi\,.$$

Daraus folgt durch Vergrößerung der rechten Seite:

$$L(\bar{x}) < \frac{2\,K_2(\bar{x}) - K_1(\bar{x})}{4} + \frac{1}{2}L(\bar{x})\int_0^H K|\xi-\bar{x}|\,d\xi$$

oder mit Benutzung der Formel (18):

$$L(\bar{x})\cdot\frac{K_1(\bar{x}) + K_1(H-\bar{x})}{2} < \frac{2\,K_2(\bar{x}) - K_1(\bar{x})}{4}$$

oder:

$$L(\bar{x}) < \frac{2\,K_2(\bar{x}) - K_1(\bar{x})}{2K_1(\bar{x}) + 2K_1(H-\bar{x})}$$

oder auch, da $K_1(\bar{x}) > K_2(x)$ ist:

$$L(\bar{x}) < \frac{K_2(\bar{x})}{2K_1(\bar{x})} < \frac{1}{2}.$$

Dieselbe Grenze würde man für den größten negativen Wert von $L(x)$ finden können, es folgt also:

$$|L(x)| < \frac{1}{2}. \tag{23}$$

Für $J(x)$ selbst folgt daraus nach (17):

$$J(x) = \frac{x+\varepsilon}{H+1},\quad 0 < \varepsilon < 1. \tag{24}$$

5. Hiermit läßt sich der wichtige Satz beweisen, daß mit wachsender effektiver Höhe H der Atmosphäre die Funktion $L(x)$ einer festen Grenze zustrebt.

Man schreibe die Integralgleichung (20) für zwei verschiedene Höhen H und H' $(H' > H)$ an:

$$L(x) - \frac{1}{2}\int_0^H L(\xi)K|\xi-x|\,d\xi = \frac{2K_2(x) - K_1(x)}{4} - \frac{2K_2(H-x) - K_1(H-x)}{4}$$

$$L'(x) - \frac{1}{2}\int_0^{H'} L'(\xi)K|\xi-x|\,d\xi = \frac{2K_2(x) - K_1(x)}{4} - \frac{2K_2(H'-x) - K_1(H'-x)}{4}\,.$$

Wir wollen setzen:

$$L'(x) - L(x) = N(x)$$

und zeigen, daß $N(x)$ für wachsendes H verschwindet. Aus den vorstehenden beiden Gleichungen folgt:

$$F\{N(x)\} = \frac{2K_2(H-x) - K_1(H-x)}{4} - \frac{2K_2(H'-x) - K_1(H'-x)}{4}$$
$$+ \frac{1}{2}\int_H^{H'} L'(\xi) K|\xi - x|\, d\xi$$

oder, wenn man rechts vergrößert, indem man in dem Integral für $L'(\xi)$ die obere Grenze $\frac{1}{2}$ einführt und die Formel (18) benutzt:

$$F\{N(x)\} < \frac{1}{2} K_2(H-x) - \frac{1}{2} K_2(H'-x)$$

oder erst recht:

$$F\{N(x)\} < \frac{1}{2} K_2(H-x).$$

Die hier auftretende rechte Seite tritt auch auf in der Integralgleichung (13) für $J(x)$:

$$F\{J(x)\} = \frac{1}{2} K_2(H-x).$$

Damit folgt:

$$F\{J(x)\} > F\{N(x)\}$$

und nach Satz (2)

$$J(x) > N(x)$$

oder, wenn wir für $J(x)$ die aus (24) hervorgehende obere Grenze benutzen:

$$N(x) < \frac{x+1}{H+1}.$$

Dieselbe Grenze würde man für $-N(x)$ ableiten können. Es folgt also:

$$|N(x)| < J(x) < \frac{x+1}{H+1}. \tag{25}$$

Das bedeutet, daß für wachsendes H bei festgehaltenem x die Schwankung $N(x)$ der Funktion $L(x)$ der Null zustrebt, daß also $L(x)$ für wachsendes H einer bestimmten Grenzfunktion zustrebt. Nach (17) auf $J(x)$ übertragen heißt dies: Der Wert von $(H+1)J(x)$ strebt mit wachsendem H bei festgehaltenem x einer bestimmten Grenze zu. Und schließlich auf die austretende Strahlung $b(0, i)$ übertragen:

$(H+1)\, b(0,i)$ — oder auch $H\, b(0,i)$ — nähert sich mit wachsendem H einer bestimmten Grenzfunktion von i.

Wenn man es daher nur mit Atmosphären von großer effektiver Schichtdicke zu tun hat, bei welchen die Grenze schon genügend erreicht ist, so ist die austretende Lichtmenge der effektiven Höhe umgekehrt proportional; die Verteilung des austretenden Lichtes auf die verschiedenen Richtungen ist dabei eine ganz bestimmte, von der Höhe der Atmosphäre unabhängige.

Numerische Bestimmung von $L(x)$. Um einen Anhalt über die tatsächlichen Werte von $L(x)$ und $J(x)$ für verschiedene Atmosphärenhöhen zu erhalten, habe ich die Integralgleichung ersetzt durch eine Anzahl gewöhnlicher Gleichungen in folgender Weise. Das Intervall H wurde durch eine Anzahl äquidistanter Punkte $x=0$, $x=a$, $x=2a$, ... $x=na=H$ in n gleiche Teile zerlegt. Als Unbekannte wurden die Werte von $L(x)$ in diesen Punkten, also die Größen $L(0)$, $L(a)$ usw. angesehen. In den Intervallen zwischen den Punkten wurde linearer Verlauf von $L(x)$ vorausgesetzt. Damit ließ sich der Wert von:

$$\int_0^H d\xi\, L(\xi)\, K|\xi-x|$$

für jeden Wert von x berechnen auf Grund der Formeln (18), (19) und der ähnlich zu erhaltenden:

$$\int_0^\beta d\xi\, K|\xi-x| = K_1(x-\beta)-K_1(x) \qquad x>\beta>0$$

$$\int_0^\beta \xi\, d\xi\, K|\xi-x| = \beta K_1(x-\beta)+K_2(x)-K_2(x-\beta) \qquad x>\beta>0$$

$$= -\beta K_1(\beta-x)+K_2(-x)-K_2(\beta-x) \qquad 0>x.$$

Es war damit die linke Seite der Integralgleichung für jeden Wert von x berechenbar als lineare Funktion der Unbekannten $L(0)$, $L(a)$ usw. Es wurde nun Übereinstimmung der linken und der gegebenen rechten Seite der Integralgleichung gefordert für die Werte $x=0, a, \ldots na$. Das gab ebensoviel Gleichungen als Unbekannte.

Die Werte des Integrallogarithmus und seiner Zugeordneten finden sich tabuliert bei E. GOLD[1].

In der nachstehenden Tabelle sind einige Werte von K_1 und K_2 angeführt und es ist die Differenz $2K_2-K_1$ hinzugefügt, aus welcher sich die rechte Seite der Integralgleichung für L bildet. Man sieht,

[1] London Roy. Soc. Proceedings Vol. 82, 1909.

daß dieselbe sehr klein ist. Das Intervall a wurde gleich 0.2 gewählt und die Rechnung für $H = 1, 2, 4$ und 8 durchgeführt. Die oben bewiesene Symmetrieeigenschaft $L(x) = -L(H-x)$ reduzierte die Zahl der Unbekannten auf die Hälfte. Blieben so für $H = 8$ noch 20 Unbekannnte, so war die Auflösung der Gleichungen doch nur eine kleine Arbeit, da die meisten Koeffizienten sehr klein waren und zweistellige Rechnung genügend schien. Die Resultate sind in der folgenden Tabelle gegeben.

x	$K_1(x)$	$K_2(x)$	$2K_2(x)-K_1(x)$	$L(x)$ $H=1$	2	4	8	$(H+1)J(x)$ $H=1$	2	4	8
0.0	1.00	0.50	0.00	−0.02	0.00	+0.03	+0.04	0.48	0.50	0.53	0.54
0.2	0.57	0.35	0.13	−0.01	+0.04	0.08	0.09	0.69	0.74	0.78	0.79
0.4	0.39	0.26	0.13	0.00	+0.04	0.08	0.11	0.90	0.94	0.98	1.01
0.6	0.28	0.19	0.11	0.00	+0.03	0.08	0.11	1.10	1.13	1.18	1.21
0.8	0.20	0.14	0.09	+0.01	+0.02	0.07	0.10	1.31	1.32	1.37	1.40
1.0	0.15	0.11	0.07	+0.02	0.00	0.06	0.10	1.52	1.50	1.56	1.60
1.2	0.11	0.08	0.06		−0.02	0.05	0.09		1.68	1.75	1.79
1.4	0.08	0.06	0.05		−0.03	0.04	0.09		1.87	1.94	1.99
1.6	0.06	0.05	0.04		−0.04	0.03	0.08		2.06	2.13	2.18
1.8	0.05	0.04	0.03		−0.04	0.01	0.07		2.26	2.31	2.37
2.0	0.04	0.03	0.02		0.00	0.00	0.06		2.50	2.50	2.56
2.2	0.03	0.02	0.02			−0.01	0.06			2.69	2.76
2.4	0.02	0.02	0.02			0.03	0.05			2.87	2.95
2.6	0.02	0.01	0.01			0.04	0.04			3.06	3.14
2.8	0.01	0.01	0.01			0.05	0.03			3.25	3.33
3.0	0.01	0.01	0.01			0.06	0.03			3.44	3.53
3.2						0.07	0.02			3.63	3.72
3.4						0.08	0.02			3.82	3.92
3.6						0.08	0.01			4.02	4.11
3.8						0.08	0.00			4.22	4.30
4.0						0.03	0.00			4.47	4.50

Die aus der Oberfläche austretende Strahlung wird nach den Formeln (14), (16) und (17):

$$(H+1)\,b(0,i) = 0.5 + \cos i + e^{-H \sec i}(0.5 - \cos i) + \int_0^H L(\xi)\, e^{-\xi \sec i} \sec i \, d\xi$$

Das Integral rechts stellt die Korrektion dar, um welche die Schustersche Näherung zu verbessern ist. Dies Integral wurde durch rohe mechanische Quadratur bestimmt. Das Resultat für einige Werte des Winkels i gibt folgende kleine Tabelle.

$\cos i$ \ H	Austretende Strahlung $(H+1)\,h(0,i)$ SCHUSTERsche Näherung 1	2	4	8	Korrektion derselben 1	2	4	8	Resultat 1	2	4	8	$0.5+\cos i$
1.0	1.32	1.43	1.49	1.50	−0.00	+0.01	+0.05	+0.08	1.32	1.44	1.54	1.58	1.50
0.8	1.21	1.28	1.30	1.30	−0.01	+0.02	+0.06	+0.08	1.20	1.30	1.36	1.38	1.30
0.6	1.08	1.10	1.10	1.10	−0.02	+0.02	+0.06	+0.09	1.06	1.12	1.16	1.19	1.10
0.4	0.91	0.90	0.90	0.90	−0.02	+0.02	+0.07	+0.09	0.89	0.92	0.97	0.99	0.90
0.2	0.70	0.70	0.70	0.70	−0.02	+0.02	+0.06	+0.08	0.68	0.72	0.76	0.78	0.70
0.0	0.50	0.50	0.50	0.50	−0.02	0.00	+0.02	+0.04	0.48	0.50	0.52	0.54	0.50

Nach der obigen Grenzbetrachtung würde die Verteilung der austretenden Strahlung für $H=\infty$, wie man leicht aus Formel (25) schließt, sich für jedes i um $\pm\frac{1}{9}$ ihres Wertes noch von der Verteilung für $H=8$ unterscheiden können. Da die Grenzbetrachtung aber eine zu hohe obere Grenze gibt, dürfte die für $H=8$ gefundene Verteilung schon eine auf wenige Prozent richtige Annäherung an die Grenzverteilung für $H=\infty$ darstellen.

Die vorstehende Untersuchung lehrt, daß die SCHUSTERsche Annäherung eine sehr gute ist. Für effektive Schichtdicken $H>2$ gibt auch die einfache Formel:

$$h(0,i)=\frac{0.5+\cos i}{H+1}$$

schon eine gute Annäherung, wie die letzte Spalte vorstehender Tabelle zeigt.

Kehren wir wieder zur der ursprünglichen Bezeichnung zurück, indem wir mit H die wirkliche Höhe, mit σ den Streuungskoeffizienten der Atmosphäre bezeichnen, so lautet diese Formel:

$$h(0,i)=\frac{0.5+\cos i}{1+\sigma H}. \qquad (26)$$

§ 5.

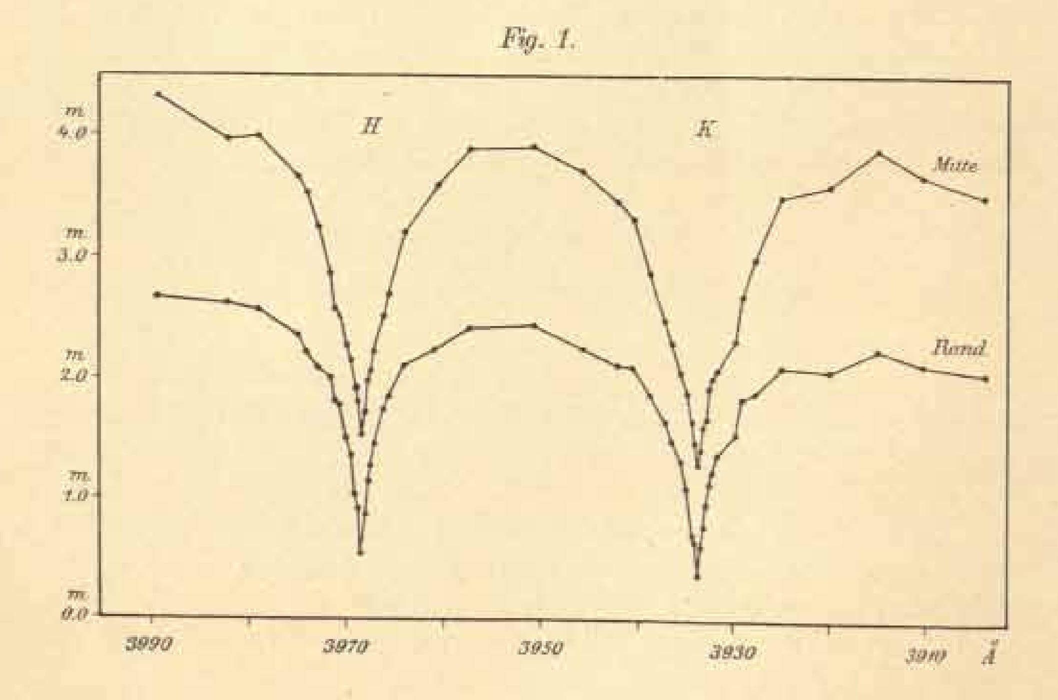
Zur Messung des Intensitätsverlaufs in der H- und K-Linie des Sonnenspektrums wurde das Sonnenspektrum aufgenommen in der zweiten Ordnung eines großen ROWLANDschen Konkavgitters; die Anordnung war durch Einführung einer Zylinderlinse stigmatisch gemacht worden. Die Dispersion war 1 Å = 0.4 mm. Das Sonnenbild wurde durch einen Heliostaten und eine Projektionslinse von 3 m Brennweite auf dem Spalt entworfen. Es wurden auf derselben

Platte die Spektren des Sonnenzentrums und des Sonnenrandes aufgenommen, und zwar sowohl mit der vollen Gitteröffnung, als auch unter Abdeckung der rechten oder der linken Hälfte des Gitters. Man übersieht leicht, daß man damit die nötigen Daten gewinnt, um von den Schwärzungen der Platten zu Intensitätsverhältnissen übergehen zu können. Man muß dabei keineswegs gleiche Intensität des Lichtes von beiden Gitterhälften voraussetzen — was in diesem Falle auch durchaus nicht zutraf; man muß nur wissen, daß die Summe des Lichtes von beiden Hälften gleich dem Licht des vollen Gitters ist.

Die Ausmessung erfolgte für das Zentrum und für das Randspektrum in etwa 12″ Abstand vom Sonnenrand unter dem Hartmannschen Mikrophotometer. Die Einstellung in Richtung des Spektrums konnte auf 0.01 mm genau abgelesen werden. Ich suchte immer die hellsten Stellen in begrenzten Bereichen des Spektrums aus, um von dem Einfluß der zahlreichen anderen Absorptionslinien frei zu werden und möglichst rein den Verlauf der Kalziumabsorption für sich zu messen. Es kam mir wesentlich darauf an, die breiten Flügel der Kalziumlinien zu erhalten; zur Messung der bekannten Umkehrungserscheinungen in der Mitte der Kalziumlinien, die sich auf etwa 0.2 Å beschränken, würde eine größere Dispersion zu verwenden sein.

Man sieht aus den in Fig. 1 wiedergegebenen Resultaten einer allerdings nur einmaligen Messung, daß die Flügel der Kalziumlinie 10 Å weit beiderseitig von der Mitte der Linien aus zu verfolgen sind und halbwegs zwischen beiden Linien fast zusammenkommen.

Fig. 1.



Die K-Linie ist etwas breiter, als die H-Linie. Am Rande ist das kontinuierliche Spektrum außerhalb der Linien um 1.5 Größenklassen schwächer als in der Mitte, die Linien machen diese allgemeine Schwächung im wesentlichen mit, nur sind sie am Rande im Vergleich zum kontinuierlichen Spektrum etwas weniger tief und ihre Flügel etwas weniger mächtig.

§ 6.

Wir wollen nunmehr überlegen, wie das Sonnenspektrum in der Nachbarschaft einer Fraunhoferschen Linie aussehen müßte für den Fall der Absorption einerseits, den der Diffusion anderseits.

Im Falle der Absorption möge die Tiefe H und der Absorptionskoeffizient $\varkappa$ genügend groß sein, um $e^{-\varkappa H}$ vernachlässigen zu können. Im Fall der Streuung möge die Tiefe H und der Streuungskoeffizient σ groß genug sein, um die »effektive« Höhe σH größer als 2 zu machen.

Für die austretende Strahlung haben wir dann im Falle der Absorption nach (11):

$$b(0, i) = a + \frac{b}{\varkappa} \cos i,$$

wobei daran erinnert sei, daß $E(x) = a + bx$ die Kirchhoffsche Funktion für die betreffende Wellenlänge als Funktion der Tiefe bedeutete.

Im Falle der Streuung gilt angenähert nach (26):

$$b(0, i) = \frac{0.5 + \cos i}{1 + \sigma H}.$$

Wir betrachten eine Fraunhofersche Linie und deren Nachbarschaft, im ganzen ein hinreichend schmales Spektralgebiet, um $E(x)$ als identisch für die in Betracht kommenden Wellenlängen ansehen zu können. $\varkappa$ oder σ werden außerhalb der Linie gewisse, der allgemeinen Zusammensetzung der Atmosphäre entsprechende Werte $\varkappa_0$ und σ_0 haben und nach der Mitte der Linie zu erheblich zunehmen bis zu gewissen Maximalwerten $\varkappa_1$ und σ_1.

Im Falle der Absorption ergibt sich damit folgendes: Die Intensität wird:

	in der Mitte ($i = 0°$)	am Rande ($i = 90°$)
außerhalb der Fraunhoferschen Linie	$a + \frac{b}{\varkappa_0}$	a
in der Fraunhoferschen Linie	$a + \frac{b}{\varkappa_1}$	a

Im Falle der Absorption verschwinden die Fraunhoferschen Linien am Sonnenrande, am Sonnenrande herrscht eine

gleichmäßige Intensität a. Die Helligkeit sinkt selbst in der Mitte der Linien nirgends auf der Sonnenscheibe unter diese Randhelligkeit a.

Es erklärt sich dies natürlich daraus, daß bei wachsendem Absorptionskoeffizienten oder bei wachsender Schichtdicke infolge schrägen Durchtritts der Strahlen die Atmosphäre immer mehr wie ein schwarzer Körper von der ihrer höchsten Schicht entsprechenden Temperatur wirkt.

Im Falle der Streuung hat man hingegen für die Helligkeit im Spektrum

	in der Mitte	am Rand der Sonne
außerhalb der Fraunhoferschen Linie	$\frac{1.5}{1+\sigma_0 H}$	$\frac{0.5}{1+\sigma_0 H}$
in der Fraunhoferschen Linie	$\frac{1.5}{1+\sigma_1 H}$	$\frac{0.5}{1+\sigma_1 H}$

Die Helligkeit sinkt am Rande auf ein Drittel der Zentralhelligkeit, sowohl außerhalb wie innerhalb der Linie. Das Aussehen des ganzen Spektrums ändert sich im Falle reiner Streuung von der Mitte bis zum Rand der Sonne nicht, der Kontrast der Fraunhoferschen Linien gegen das umgebende kontinuierliche Spektrum bleibt unverändert. Nur die Gesamthelligkeit des ganzen Spektrums vermindert sich auf ein Drittel.

Offenbar gibt die Annahme der Streuung eine bessere Annäherung an das wirkliche Verhalten des Sonnenspektrums, als die der Absorption und Emission. Der Abfall der Intensität im kontinuierlichen Spektrum folgt für die Gesamtstrahlung sehr nahe dem Gesetz $0.5+\cos i$; im Rot ist der Abfall etwas geringer, im Violett etwas stärker. Die Fraunhoferschen Linien werden zwar im allgemeinen, und speziell nach den vorstehenden Messungen die H- und die K-Linie, etwas schwächer nach dem Sonnenrande zu; aber die Änderung ist nicht stark und führt keineswegs zu einem Verschwinden der Linien am Sonnenrande, wie es die Absorptionshypothese verlangt.

Es ist daher wahrscheinlich, daß die Streuung des Lichtes eine wesentliche Rolle in den Erscheinungen der Sonnenatmosphäre spielt[1]. Eine genauere Diskussion des Zusammenwirkens von Absorption und Diffusion und der Versuch der Darstellung des wirklichen, scharf gemessenen Intensitätsverlaufs, zunächst in der H- und K-Linie, im Anschluß an die Formeln der Dispersionstheorie ist mir im Augenblick nicht mehr möglich.

[1] Vgl. hierüber auch W. H. Julius, Astrophysical Journal 38, S. 129 (1913).

Uber die Verschiebungen der Bande bei 3883 Å im Sonnenspektrum.

Von K. SCHWARZSCHILD.

(Vorgelegt von Hrn. EINSTEIN am 5. November 1914 [s. oben S. 979].)

1.

Die Wellenlängen der FRAUNHOFERschen Linien im Spektrum der Sonne sind gegen die entsprechenden Linien terrestrischer Lichtquellen infolge der Rotation der Sonne, der Rotation der Erde und der Bewegung der Erde in ihrer exzentrischen Bahn um die Sonne verschoben. Aber auch wenn man den Einfluß dieser drei Bewegungen gemäß dem DOPPLERschen Prinzip berücksichtigt, bleiben noch kleine Verschiebungen übrig, und zwar stimmen die Wellenlängen verschiedener Punkte der Sonnenscheibe weder unter sich noch mit den terrestrischen Wellenlängen überein.

Das Studium all dieser Linienverschiebungen ist nicht nur von Wichtigkeit für die Sonnenphysik, sondern kann nach Hrn. EINSTEIN auch Auskunft über die Relativität der Welt geben. Nach dem von Hrn. EINSTEIN aufgestellten Äquivalenzprinzip[1], welches die Wesensgleichheit eines Gravitationsfeldes mit der Beziehung auf ein beschleunigtes Koordinatensystem behauptet, muß infolge der Gravitation der Sonne eine Verschiebung $\Delta\lambda$ der Wellenlängen λ nach Rot erfolgen vom Betrage:

$$\frac{\Delta\lambda}{\lambda} = \frac{1}{2}\frac{v^2}{V^2},$$

wobei V die Lichtgeschwindigkeit, v die Geschwindigkeit eines Körpers ist, der aus dem Unendlichen in die Sonne fällt. Da $v = 617$ km/sec ist, folgt:

$$\frac{\Delta\lambda}{\lambda} = 2.12 \cdot 10^{-6}.$$

[1] Annalen der Physik 35, S. 905 (1911).

Dies ist übrigens quantitativ dieselbe Verschiebung, wie sie durch eine Fortbewegung der Lichtquelle um 0.635 km/sec hervorgebracht würde.

Auf den ersten Blick scheint es, als ob die Einsteinsche Verschiebung sich an den Linien des Sonnenspektrums deutlich zu erkennen gäbe. Die meisten Linien des Sonnenspektrums sind nach Rot verschoben, verglichen mit den entsprechenden terrestrischen Linien. Man hat diese Verschiebungen bisher meist als Druckverschiebungen gedeutet und daraus die bekannte Angabe von 5 Atmosphären Druck in der umkehrenden Schicht der Sonne abgeleitet. Die Zahlen stimmen aber auch quantitativ merkwürdig gut mit der Einsteinschen Verschiebung, wenn man z. B. das Mittel aus den Eisenlinien nimmt, die Hr. Evershed[1] beobachtet hat[2]. Bei näherem Zusehen erweisen sich aber die Verhältnisse als viel verwickelter. Ich will hier über meine eigenen, durch den Krieg zunächst abgebrochenen, Beobachtungen berichten und die anderweitigen bisher vorhandenen Ergebnisse kurz zusammenstellen.

2.

Im Sonnenspektrum erscheinen recht kräftig die Stickstoffbanden, die man früher meist dem Cyan zuschrieb[3], insbesondere die Bande, die von 3883 Å nach kürzeren Wellenlängen sich erstreckt. Man erhält die Bande sehr bequem terrestrisch im Kohlebogen. Da eine Druckverschiebung dieser Bande in Abrede gestellt wird und die Bandenspektren überhaupt eine besonders große Konstanz haben sollen, schien es mir empfehlenswert, gerade die bei 3883 Å beginnende Bande zu näherem Vergleich herauszugreifen. Vor einem Jahr begann ich Versuche mit Hilfe eines Rowlandschen Konkavgitters. Im letzten Frühjahr kam dann das Observatorium in den Besitz eines vortrefflichen Andersonschen Plangitters. Die definitive Anordnung des Spektralapparates war folgende. Das Licht wurde durch einen Kollimator von 2 m Brennweite und 16 cm Öffnung parallel gemacht und fiel auf das Gitter, von dem eine Fläche von 12 × 8 cm mit rund 70000 Strichen freigelassen wurde. Das Kameraobjektiv hatte 16 cm Öffnung bei 4 m Brennweite. Die Aufnahmen geschahen stets in der 4. Ordnung. Der Maßstab in der Gegend der Bande ist 1 Å = 1.15 mm. Die

---

[1] Kodoikanal Bulletin Nr. 36.

[2] Vgl. den Aufsatz von Hrn. E. F. Freundlich, Physikalische Zeitschrift 15, S. 369 (1914).

[3] Der Nachweis ihrer Zugehörigkeit zum Stickstoff ist erbracht von C. Runge und W. Grotrian, Physikalische Zeitschrift 15, S. 545 (1914).

Expositionszeiten gingen nicht über drei Minuten. Die stündlichen Temperaturveränderungen im Beobachtungsraum erreichten nur wenige zehntel Grad.

Das Sonnenbild wurde mit Hilfe eines Repsoldschen Heliostaten mit guten Feinbewegungen und eines Objektivs von 20 cm Durchmesser und 3 m Brennweite in der Spaltebene entworfen. Vor dem Spalt befand sich eine Platte mit Millimeterteilung, die eine Einstellung auf den horizontalen Durchmesser des Sonnenbildes auf 0.1 mm genau (was etwa 7" entspricht) gestattete. Die zum Vergleich dienende Bogenlampe wurde mit Hilfe eines Zeissschen Tessars auf den Spalt projiziert. Das Tessar wurde auf dasselbe Öffnungsverhältnis abgeblendet, wie es die zur Projektion der Sonne dienende Linse hatte. Es wurde sorgfältig darauf geachtet, daß bei weitgeöffnetem Spalt der Lichtkegel sowohl für die Sonne wie für das Bogenlicht das Gitter füllte und symmetrisch einschloß. Ein Unterschied der Lichtführung für Sonne und Vergleichslicht besteht dann nur noch insofern, als die verschiedenen Teile des Beleuchtungskegels ein wenig verschiedene Absorptionen erleiden, weil der Absorptionsunterschied zwischen Mitte und Rand bei der Projektionslinse etwas anders als beim Tessar ist. Auch der Heliostatenspiegel kann eine derartige Ungleichförmigkeit geben, wenn seine Versilberung nicht gleichmäßig ist, weshalb auf guten Zustand der Versilberung geachtet wurde. Bei den Aufnahmen wurde der Spalt auf 0.01 mm verengert. Es trat dann eine so starke Streuung des Lichtes durch Beugung ein, daß an genügender Identität der Beleuchtung für Sonne und Vergleichslicht kein Zweifel sein konnte.

Die Spektren bestanden immer aus drei Streifen, wobei die beiden äußeren derselben Lichtquelle entsprangen und gleichzeitig exponiert wurden. Entweder wurden zuerst die beiden äußeren Streifen, dann der mittlere belichtet und dann die Exposition der äußeren Streifen wiederholt, oder es wurde umgekehrt eine Exposition der äußeren Streifen von zwei Expositionen des mittleren zeitlich eingeschlossen. Die Belichtungen wurden mittels einer vom Instrument unabhängigen Spaltblende, ähnlich wie man sie bei Sternspektographen benutzt, ausgeführt.

3.

Zur Erprobung der Aufstellung maß ich zunächst anderweit beobachtete Objekte, nämlich die in Tabelle 1 bezeichneten Eisenlinien. Die Tabelle gibt die Unterschiede Sonne—Bogen in tausendstel Ångström. Der Bogen hatte als unteren negativen Pol eine Eisen-

oxydkugel nach dem Vorschlag von Hrn. Pfund[1]; die obere positive Elektrode bestand aus Kohle. Der Bogen war 8—10 mm lang. Die Stromstärke betrug 3.5 Ampere. Es war dies ein Bogen von sehr geringer Dampfdichte. Das Sonnenspektrum ist das der Sonnenmitte.

Tabelle 1. Sonne—*Fe*.

Platte Nr. λ	96	97	98	99	101	Mittel	Evershed	Royds	Kurzer—langer Bogen	Druckeinfluß	Int. Rowl.	Fabry und Buisson
4187.2		−8	−5	+3	0	−3	+7	+1	23		6	−3
87.9	−4	+3	+2	+1	+2	+1	+8	+8	24		5	
91.6	+5	+4	+3	+3	+4	+4	−1	+2	20		6	
99.2	0	+5	0	+4		+2	+10		4		5	
4202.2	+8	+6	+11	+5	+8	+8	+17	+10	2(u)	25	8	−18
16.8	0	+3	+2	+2		+2		+3	6	15	3*d*?	
19.5	+17	+13	+14	+26		+17	+15		7		7	
22.3	−1	0	+3	+1		+1		−2	27		5	
27.6	+2	−1	+6	+3		+3	−1	−5	41	110	4	−29
33.5	−1	+1	−1	0		0	−6	−6	25	90	6	−8
36.1	+10	0	+6	+9	+7	+6	+4	+3	22	90	8	−19
47.7	−3			+5		+1					4	
50.3	+10	+5	+11	+10	+10	+9	+3	+7	24	70	8	−14
60.6	+18	+9	+10	+11	+15	+13	+7		24	51	10	
71.3	−6	−9				−7	+4	+5	17		6	−18
71.9	+15	+10				+13	+9	+17	10(u)	21	15	

Der Einfluß der Erdbewegung und der Erdrotation ist bereits in Rechnung gesetzt. Die Platten (98) und (101) wurden von Hrn. A. von Brunn, die übrigen von mir ausgemessen. Jede Linie wurde in jedem Spektralstreifen zweimal in beiden Lagen der Platte unter einem Toepferschen Meßapparat eingestellt. Das Mittel der Abweichungen jeder Platte vom Gesamtmittel — also der systematische Plattenfehler — beträgt für die fünf Platten 0, −2, 0, +1, +1 tausendstel Ångström. Die Platten stimmen also gut untereinander überein. Bei Platte (96) und (98) liegt das Sonnenspektrum zwischen zwei Eisenspektren, bei den übrigen Platten liegt ein Eisenspektrum zwischen zwei Sonnenspektren. Ein systematischer Unterschied beider Anordnungen, wie sie z. B. durch Spaltkrümmung bewirkt werden könnte, ist nach vorstehenden Zahlen nicht vorhanden. Ferner beträgt das Mittel der Abweichungen der Werte von Evershed[2] und Royds[3] gegen meine +0.7 bzw. +0.5 tausendstel Ångström. Es ist also auch keine systematische Ab-

[1] Astrophysical Journal 27, S. 296 (1908).

[2] Kodaikanal Bulletin Nr. 36.

[3] Kodaikanal Bulletin Nr. 38.

weichung zwischen mir und diesen beiden Beobachtern vorhanden. Evershed und Royds haben mit demselben Instrument und zum Teil gemeinsam gearbeitet. Das erklärt die gute Übereinstimmung zwischen beiden. Meine individuellen Werte weichen weit über ihren mittleren Fehler hinaus von denen beider Beobachter ab.

Um zu prüfen, wie weit die individuellen Abweichungen von der Natur des Eisenbogens abhängen[1], habe ich das Spektrum des beschriebenen Bogens geringer Dampfdichte verglichen mit einem Bogen sehr großer Helligkeit und jedenfalls auch Dampfdichte, der zwischen zwei Eisenstäben von 4 mm Durchmesser in einer Länge von 2 mm bei 7 Ampere brannte, wobei die Elektroden schnell weich wurden. Die auftretenden Linienverschiebungen sind zum Teil ganz auffällig. Allerdings wechseln sie von Platte zu Platte, weil man das Brennen des Bogens nicht ganz in der Gewalt hat. Auf der Platte, auf der die Verschiebungen am stärksten waren, wurden sie gemessen mit den in der Tabelle unter »Kurzer — langer Bogen« angegebenen Resultaten. Diese Verschiebungen gehen offenbar ganz parallel mit den Druckverschiebungen, die nach Adams und Gale[2] ebenfalls in der Tabelle angegeben sind. Man überzeugt sich aber leicht, daß die Unterschiede meiner Werte von denen der englischen Beobachter nicht mit der Druck- oder Dichteverschiebung parallel gehen. Dort ist, nach den Angaben von Hrn. Royds, ebenfalls ein Bogen von geringer Dampfdichte benutzt worden. Ich kann daher eine Erklärung der Abweichungen nur in verschiedener Auffassung der kleinen Unsymmetrien suchen, die fast alle Sonnenlinien durch die Nähe anderer schwacher Linien in diesem linienreichen Spektralgebiet haben.

Die Werte von Fabry und Buisson[3] sind, wie schon Hr. Evershed bemerkt hat, offenbar mit einem kurzen Bogen erhalten. Auch ist die Frage, ob die von Fabry und Buisson benutzte Interferenzmethode bei der Kompliziertheit der Beobachtung im kontinuierlichen Spektrum mit der Verwendung eines guten Gitters konkurrenzfähig ist.

Meine Mittelwerte Sonne — Bogen zeigen eine sehr deutliche Abhängigkeit von der Intensität der Linien:

10 Linien der Intensität 3—6 gaben Werte zwischen -7 und $+4$, im Mittel 0 ± 1 (m. F.) tausendstel Å;

6 Linien der Intensität 7—15 gaben Werte zwischen $+6$ und $+17$, im Mittel $+11 \pm 2$ (m. F.) tausendstel Å.

---

[1] Daß ein solcher Einfluß existiert, hat Hr. Goos, Astrophysical Journal 37, S. 48 (1913), gezeigt.

[2] Astrophysical Journal 35, S. 17.

[3] Astrophysical Journal 31, S. 109.

Es ist dies ein bekanntes Phänomen (s. unten), das sich hier sehr rein ausspricht.

Nach der vorstehenden Probe scheint kein Grund vorzuliegen, an der Freiheit des Instrumentariums von systematischen Fehlern zu zweifeln. Auch ist die Genauigkeit der Messungen befriedigend.

4.

Der Vergleich der Stickstoffbande 3883 Å mit der Sonne wurde zunächst auf zwei Platten Nr. (124) und (125) ausgeführt, wobei erstere das Spektrum des Sonnenzentrums von der Stickstoffbande eingerahmt enthielt, während bei letzterer das Stickstoffspektrum vom Sonnenspektrum eingerahmt war. Ich maß auf beiden Platten ohne die Absicht der Vollständigkeit zunächst 65 Objekte, bei denen die Identifizierung mit Linien der Stickstoffbande sicher zu sein schien. Von den 65 Objekten gibt für 5 die Rowlandsche Tabelle Zusammensetzung aus einer Stickstofflinie und einer Linie eines anderen Elements an. Diese Objekte wurden wegelassen. Ferner wurde das von Rowland gegebene Linienpaar 3861.734, 3861.681 (Intensität 2, 1) weggelassen, weil es unsymmetrisch und die Trennung auf meinen Aufnahmen nicht deutlich war. Viele von den vermessenen Stickstofflinien, namentlich am Kopf der ersten Bande, bilden mit Nachbarlinien zusammen eine Art Band, indem der Zwischenraum zwischen den Linien ebenfalls mit Licht erfüllt ist. Andere Linien haben mehr zufällige Begleiter auf der einen oder anderen Seite. Es zeigte sich, daß jede Unsymmetrie dieser Art den Vergleich mit der Sonne illusorisch macht. Für 11 Linien, welche solche Anhängsel oder Bänder auf der violetten Seite hatten, ergab sich nämlich im Durchschnitt Sonne — $N = -0.002$; für 14 Linien mit Anhängseln nach Rot ergab sich im Durchschnitt $+0.011$. Die Distanz zweier benachbarter Linien ist hiernach von mir im Emissionsspektrum des Stickstoffs größer gemessen worden als in der Sonne. Nach Ausschluß all dieser Linien mit unsymmetrischer Nachbarschaft — nur die beiden eine schwache Unsymmetrie des Hintergrundes aufweisenden, aber sonst sehr scharfen Linien 3868.261 und 3868.539 wurden mitgenommen — blieben 33 Linien, die für die weiteren Messungen beibehalten wurden.

Tabelle 2 gibt die Unterschiede Sonne — N für diese 33 Linien in tausendstel Ångström für 4 Platten. Platte (124) und (125) stammen vom 22. Juli 1914, (137) und (138) vom 12. August 1914. Bei Platte (124) und (138) liegt das Sonnenspektrum zwischen zwei N-Spektren, bei den beiden anderen Platten umgekehrt. Erdbewegung und Erdrotation sind bereits in Rechnung gesetzt.

Tabelle 2.

Platte / ROWLAND	(124)	(125)	(137)	(138)	Mittel
3882.828 C 1	+ 2	− 2	+ 3	− 1	+ 1
79.716 C 1	+ 2	+10	+ 6	+ 4	+ 5
77.481 C 1	0	0	− 5	0	− 1
76.448 C 0		0	− 4	− 5	− 3
73.504 C 0	+ 3	+ 5	+ 8	+ 7	+ 6
71.018 C 1	+ 7	+15	+10	+10	+11
68.700 C 0	− 1	+ 6	+ 4	− 5	+ 1
68.539 C 1	+ 2	+ 1	+ 6	+ 1	+ 3
68.261 C 0	+ 8	+ 6	+ 5	− 1	+ 5
67.906 C 1	− 1	+ 0	− 6	− 6	− 3
67.205 C 0	+ 9	+ 6	− 3	+ 3	+ 4
67.118 C 0	+ 4	− 5	− 3	− 1	− 1
66.960 C 2	+ 9	+12	+11	+15	+12
66.122 C? 3 Nd?	− 4	0	− 2	− 3	− 2
65.282 C? 3	+ 5	+ 2	0	0	+ 2
65.134 C 0	+ 6	− 3	− 1	− 6	− 1
64.438 C 3	+ 9	+ 6	+ 5	+ 4	+ 6
62.627 C? 2	+ 5	− 2	+ 2	+ 3	+ 2
62.458 C 00	+ 5	− 2	0	− 4	0
61.847 C 2 N	+13	+10	+ 4	+ 7	+ 8
58.822 C 2 N	+ 7	+ 6	+ 7	0	+ 5
58.722 C 0		+ 3	+ 6	+ 1	+ 3
58.033 C? 1	+ 7	+ 4	− 3	− 4	+ 1
57.063 C? 0	+ 9	+10	+ 7	+ 6	+ 8
54.707 C 2 Nd?	+ 3	0	+ 6	+ 7	+ 4
54.191 C 0	+ 5	+ 7	− 2	− 2	+ 2
53.620 C 2 d?	+ 2	− 1	− 3	− 8	− 3
52.541 C? 2 Nd?	+13	+12	+12	+ 7	+11
51.427 C 2 Nd?	+ 7	+ 4	+ 6	0	+ 4
50.300 C 1 Nd?	0	0	+ 8	+ 4	+ 3
{46.777 C 1 {46.814 C 1	+ 3	− 6	+ 4	+ 1	+ 1
45.149 C 1	+ 7	+ 3	0	− 2	+ 2
44.378 C 4 d	+ 7	+ 4	+ 6	+ 6	+ 6

Ordnet man die Abweichungen Sonne — N nach der Intensität der Linien unter Benutzung des Mittels aus den vier Platten, so findet man:

21 Linien der Intensität 0 und 1

$+0.0022 \pm 0.0006$ (m. F.) Å $= +0.17 \pm 0.05$ km/sec,

13 Linien der Intensität 2 bis 4

$+0.0045 \pm 0.0014$ (m. F.) Å $= +0.36 \pm 0.11$ km/sec.

Eine stärkere Rotverschiebung der Linien größerer Intensität ist also angedeutet, aber nicht sicher gestellt.

Im Mittel aus allen 33 Linien ergibt sich

Sonne — *N*

Platte	(124)	(125)	(137)	(138)	Gesamtmittel
Verschiebung in Å	+0.0045	+0.0032	+0.0028	+0.0012	+0.0029
Verschiebung in km/sec	+0.35	+0.25	+0.22	+0.09	+0.22

Die Abweichungen der Platten voneinander sind erheblich stärker, als dem aus der Übereinstimmung der Linien folgenden mittleren Fehler von etwa ±0.0005 Å entspricht. Das Gesamtresultat ist:

Die bei 3883 Å beginnende Stickstoffbande im Spektrum des Sonnenzentrums ist, verglichen mit der terrestrischen Bande, nach Rot verschoben um 0.003 Å, entsprechend einer Entfernungsgeschwindigkeit von 0.2 km/sec.

5.

Es wurde weiterhin untersucht, wie die Stickstoffbande sich verschiebt, wenn man vom Sonnenzentrum zu einem anderen Punkt der Sonnenscheibe übergeht. Es wurden bei vertikalem Spalt des Spektrographen stets Punkte des horizontalen Sonnendurchmessers aufgenommen. Der horizontale Durchmesser des Sonnenbildes machte bei den bearbeiteten Aufnahmen einen Winkel bis zu 20° mit dem Sonnenäquator. Zur Elimination der Sonnenrotation erfolgten die Aufnahmen stets paarweise in wenigen Minuten Zeitabstand an zwei symmetrisch zum Sonnenmittelpunkt gelegenen Stellen der Sonnenscheibe. Jede Aufnahme enthielt ein Spektrum des Sonnenzentrums zwischen zwei Spektren eines anderen Punktes der Sonnenscheibe oder umgekehrt ein exzentrisches Spektrum zwischen zwei Spektren der Sonnenmitte. Von den 33 Linien der Tabelle 2 wurde jede zweite vermessen, wobei ich mich mit je einer Einstellung in beiden Lagen der Platte begnügte.

Die Bestimmung der Verschiebungen zwischen Sonnenmitte und Sonnenrand ist deswegen nicht ganz einfach, weil die Linien im Spektrum ihr Aussehen mit der Annäherung an den Sonnenrand erheblich ändern, und zwar die Linien unserer Bande durchweg in der Weise, daß sie flauer werden, daß das Intensitätsverhältnis zwischen Linienmitte und kontinuierlichem Spektrum sich der Einheit nähert. In 0.75 Sonnenradien Abstand von der Mitte ist die Veränderung schon erkennbar, bei 0.85 Radien schon deutlich.

Die Einzelergebnisse für jedes Plattenpaar sind in Tabelle 3 mitgeteilt.

Tabelle 3. Sonnenrand — Sonnenzentrum.

Abstand von der Mitte / Plattenpaare / Rowland		0.72	0.86				0.93		0.97	
		(122) (123)	(42) (43)	(58) (59)	(120) (121)	(130) (131)	(116) (117)	(132) (133)	(118) (119)	(134) (135)
3879.716	1	0	0	+1	−6	+1	+2	0	+ 1	− 3
76.448	0	−1	−5	−1	−2	0	+2	+ 1	− 4	− 4
71.018	1	0		+3	+1	+6	+5	− 1	+ 4	
68.539	1	−2	+1	−7	−6	0	−2	+ 6	0	
67.906	1	−4	−5	−5	+1	+2	+2	0	+ 2	+10
67.118	0	−5	+5	−6	−3	−2	−5	0	− 3	+12
66.122	3	−2	−1	−7	0	−2	−5	− 3	− 4	+ 3
65.134	0	0		−5	−7	0	−2	+ 4	+ 2	+ 9
62.627	2	−3	−4	−2	−4	−3	−5	+ 3	− 1	+ 3
61.847	2	−1		−1	−3	−2	+3	+ 4	+ 2	
58.722	0	+1		+5		+2	+3	+ 1	− 1	
57.063	0	−3	+5	+2	−5	+1	+1	+10	+ 3	
54.191	0	+3	0	−2	−3	−2	−1	+ 7	+ 2	+ 1
52.541	2	0	+2	−4	−4	−2	0	− 4	− 5	− 5
50.300	1	0		−6	−4	0	+6	0	+10	+ 8
46.814 } 777 }	1 1	−3	−4	−5	−2	−1	−2	− 2	− 6	− 8
44.378	4	−2	−7	−5	−2	−1	−3	− 1	− 5	+ 2

Im Mittel aus allen Linien sowie im Mittel aus den 6 Linien der Intensität 2 und 3 und den 11 Linien der Intensität 0 und 1 ergibt sich als Verschiebung der Randstellen gegen die Mitte für jedes Plattenpaar:

Tausendstel Angström

Abstand von der Mitte	0.72	0.86				0.93		0.97	
Alle Linien	−1.3	−1.1	−2.7	−3.1	−0.2	−0.1	+1.5	−0.2	+2.3
Stärkere Linien	−1.8	−2.8	−4.0	−2.5	−1.8	−1.8	−0.5	−3.2	−1.0
Schwache Linien	−1.0	+0.1	−1.9	−3.4	+0.7	+0.9	+2.5	+1.5	+4.7

oder weiter gemittelt für jede Stelle der Sonnenscheibe:

Abstand von der Mitte	Tausendstel Ångström 0.72	0.86	0.93	0.97	km/sec 0.72	0.86	0.93	0.97
Alle Linien	−1.3	−1.8	+0.7	+1.1	−0.10	−0.14	+0.05	+0.09
Stärkere Linien	−1.8	−2.8	−1.1	−2.1	−0.14	−0.22	−0.09	−0.16
Schwache Linien	−1.0	−1.1	+1.7	+3.1	−0.08	−0.09	+0.13	+0.24

Verbunden mit den absoluten Verschiebungen, die in § 4 für die Sonnenmitte gefunden wurden, ergibt sich als absolute Verschiebung für die einzelnen Stellen der Sonnenscheibe:

Verschiebung der N-Bande gegen die terrestrischen Wellenlängen für verschiedene Punkte der Sonnenscheibe.

Abstand von der Mitte	Tausendstel Ångström					km/sec				
	0.00	0.72	0.86	0.93	0.97	0.00	0.72	0.86	0.93	0.97
Alle Linien	+2.9	+1.6	+1.1	+3.6	+4.0	0.22	0.12	0.08	0.27	0.31
Stärkere Linien	+4.2	+2.4	+1.4	+3.1	+2.1	0.33	0.19	0.11	0.24	0.17
Schwächere Linien....	+2.2	+1.2	+1.1	+3.9	+5.3	0.17	0.09	0.08	0.30	0.41

Diese Zahlen stellen das Resultat der Untersuchung dar. Sie zeigen zunächst, daß die vorkommenden Verschiebungen durchweg sehr klein sind. Wie man ferner sieht, nimmt die Rotverschiebung von der Mitte weg zunächst ab, es erfolgt relativ zur Lage der Linien in der Sonnenmitte eine Violettverschiebung. Von 0.86 Radien an tritt dann wieder eine Rotverschiebung ein, die als »Randeffekt« bezeichnet werden kann. Für die stärkeren Linien ist der Randeffekt nicht deutlich, es ist wesentlich nur eine Abnahme der Wellenlänge von der Mitte bis in die Nähe des Sonnenrandes zu konstatieren.

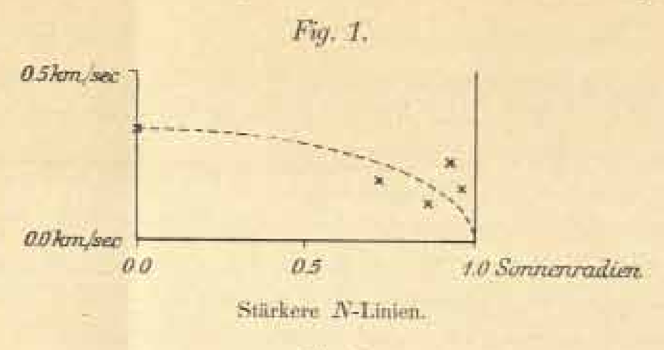
Obwohl die Verschiebungen sehr klein und schwer von subjektiver Auffassung frei zu erhalten sind, möchte ich doch glauben, daß die eben geschilderte Abnahme der Wellenlänge von der Mitte nach dem Rande zu, abgelöst von einer Zunahme über die letzten Bogenminuten am Sonnenrande, wenigstens dem Sinne nach reell ist.

Es ist ein solches Verhalten auch bereits bei anderen Linien beobachtet und in folgender Weise gedeutet worden.

Die leuchtenden und absorbierenden — vielleicht ionisierten — Moleküle der Sonnengase befinden sich in ständiger absteigender, zentripetaler Bewegung. Diese Bewegung gibt in der Mitte der Sonne eine Rotverschiebung. Die Verschiebung nimmt nach dem Rande zu ab, weil sich die in die Gesichtslinie fallende Komponente der Bewegung immer mehr verkürzt, sie wird am Rande selbst Null. (Die in die Gesichtslinie fallende Komponente der zentripetalen Geschwindigkeit als Funktion des scheinbaren Abstands von der Sonnenmitte aufgetragen gibt übrigens eine Ellipse.) Über diese Wirkung der absteigenden Geschwindigkeit lagert sich dann noch ein Randeffekt, der eine Rotverschiebung in der Nachbarschaft des Sonnenrandes bewirkt.

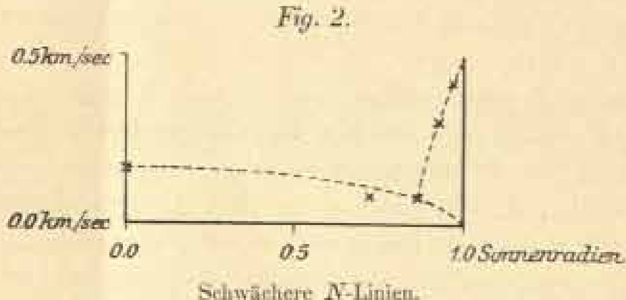
Die obigen Resultate für die stärkeren N-Linien werden, wie die in Fig. 1 eingezeichnete Ellipse zeigt, genügend dargestellt durch die Annahme einer absteigenden Bewegung des Stickstoffs von 0.3 km/sec ohne Randeffekt. Für die schwächeren Linien (Fig. 2) ergibt sich eine

Fig. 1.



Stärkere *N*-Linien.

Fig. 2.



Schwächere *N*-Linien.

Abstiegsgeschwindigkeit von 0.2 km/sec und ein kleiner Randeffekt von 0.86 Radien an.

6.

Es sollen die Ergebnisse für die Stickstoffbande nunmehr mit den sonst vorhandenen Beobachtungen zusammengestellt werden, und zwar zunächst mit Beobachtungen, die sich auf zahlreichere Punkte der Sonnenscheibe beziehen. An Linien ohne Randeffekt liegen folgende Resultate vor:

Autor	Linie	Ursprung	Intensität	Abstiegs-geschwindigkeit	Reduzierte Geschwindigkeit
PEROT u. LINDSTEDT[1] ..	5172.856	Mg	20	1.6 km/sec	+0.3 km/sec
ST. JOHN[2]	3933.825	Ca	1000	1.1	0.0
SCHWARZSCHILD	3883 usw.	N	2—3	0.3	0.0

An Linien mit Randeffekt sind folgende beobachtet. Der Randeffekt beginnt in allen drei Fällen bei 0.85 Sonnenradien. Seine Größe ist für 0.94 Radien angegeben:

Autor	Linie	Ursprung	Intensität	Abstiegs-geschwindigkeit	Randeffekt	Reduzierte Geschwindigkeit
PEROT[3]	4625.227	Fe	5	0.0 km/sec	0.8 km/sec	−0.1 km/sec
PEROT[4]	5896.155	Na	20	1.4	0.9	+0.1
SCHWARZSCHILD	3883 usw.	N	0—1	0.2	0.3	0.0

[1] Comptes rendus 152, S. 1367 (1911).
[2] Astrophysical Journal 32, S. 36 (1910).
[3] Comptes rendus 151, S. 38 (1910).
[4] Comptes rendus 154, S. 326 (1912).

Unter »reduzierter Geschwindigkeit« ist hier folgendes verstanden. Schließt man an Beobachtungen der Punkte der Sonnenscheibe, welche vom Randeffekt noch nicht betroffen sind, eine Ellipse an, so findet man daraus die Abstiegsgeschwindigkeit. Setzt man diese Abstiegsgeschwindigkeit für das Sonnenzentrum in Rechnung, so sollte dadurch Übereinstimmung der solaren mit der terrestrischen Wellenlänge herbeigeführt werden. Der verbleibende Rest, in km/sec umgerechnet, ist als »reduzierte Geschwindigkeit« angegeben. Die Kleinheit dieser Reste würde beweisen, daß der Einstein-Effekt nicht existiert, wenn die Deutung der Verschiebungen in der obigen Weise als einzig mögliche erkannt wäre.

Für eine viel größere Zahl von Linien liegen, wenn auch keine Messungen an vielen Punkten der Sonnenscheibe, so doch wenigstens Vergleichungen der Wellenlängen in der Sonnenmitte mit Punkten in wenigen Sekunden vom Rande vor, in einer Arbeit von Hrn. W. Adams[1]. Die Linien sind danach am Rande fast durchweg ein wenig nach Rot verschoben, doch betragen die Verschiebungen meist nur wenige Zehntel km/sec.

Für die Mg-Linie 5173 und die Ca-Linie 3934 stehen die Messungen von Adams in Widerspruch mit den Ergebnissen von Perot und St. John, da nach deren Angaben wegen Fehlens des Randeffektes eine Violettverschiebung der Linien verglichen mit dem Zentrum bestehen müßte, während Adams in beiden Fällen eine geringe Rotverschiebung mißt.

Schließlich haben die HH. Fabry und Buisson, Evershed und Royds für zahlreiche Eisenlinien eine Vergleichung der Wellenlängen im Sonnenzentrum mit den terrestrischen Linien ausgeführt. Hr. Evershed bemerkte, daß die Rotverschiebung mit der Stärke der Linien geht. Hr. Royds findet aus ausgewählten symmetrischen, von der Dampfdichte wenig abhängigen Linien:

Intensität nach Rowland	2 bis 4	5 bis 7	8 bis 10	über 10
Rotverschiebung	+ 0.2	+ 0.2	+ 0.4	+ 0.8 km/sec.

Man sieht, daß eine dem Einstein-Effekt (0.63 km/sec) entsprechende Verschiebung erst bei Linien von erheblicher Intensität (etwa 10) auftritt.

7.

Überblickt man alle diese Resultate, so muß man zum mindesten sagen, daß der Einsteinsche Effekt, eine Rotverschiebung von 0.63 km/sec, keineswegs klar aus den Beobachtungen hervortritt. Es

[1] Astrophysical Journ. 31, S. 30 (1910).

spricht besonders gegen den Einsteinschen Effekt, daß alle untersuchten schwächeren Linien im Sonnenspektrum, sowohl die des Eisens wie die des Stickstoffs, überhaupt nur sehr geringe Verschiebungen sowohl gegen die terrestrischen Linien wie gegen die Mitte der Sonnenscheibe aufweisen. Daß die von Hrn. Evershed vermessenen Eisenlinien im Durchschnitt gerade die Einsteinsche Verschiebung gaben, beruhte nur auf der zufälligen Mischung starker und schwacher Linien.

Auf der anderen Seite wurden oben Widersprüche zwischen den vorliegenden Angaben erwähnt, und so müssen offenbar die Beobachtungen noch weiter geklärt und vermehrt werden, bevor eine genauere Diskussion der Ursache der Linienverschiebungen möglich ist.

Ausgegeben am 7. Januar 1915.

VERZEICHNISS DER VOM 1. DECEMBER 1913 BIS 30. NOVEMBER 1914 EINGEGANGENEN DRUCKSCHRIFTEN.

Deutsches Reich.

Altenburg.

Geschichts- und Altertumsforschende Gesellschaft des Osterlandes.

Mitteilungen. Bd. 12, Heft 3. 1913.

Berlin
(einschl. Vororte und Potsdam).

Kaiserlich Deutsches Archäologisches Institut.

Jahrbuch. Bd. 28, Heft 4. Bd. 29, Heft 1. 1913. 14.

Mitteilungen. Athenische Abteilung. Bd. 28, Heft 3. 4. Athen 1913.

Kataloge west- und süddeutscher Altertumssammlungen. Hrsg. von der Römisch-Germanischen Kommission des Kaiserlichen Archaeologischen Instituts. III. Birkenfeld. Frankfurt a. M. 1914.

Materialien zur römisch-germanischen Keramik. Hrsg. von der Römisch-Germanischen Kommission. 1. Frankfurt a. M. 1914.

Zentraldirektion der Monumenta Germaniae historica.

Neues Archiv der Gesellschaft für ältere deutsche Geschichtskunde. Bd. 39. Hannover und Leipzig 1914.

Monumenta Germaniae historica inde ab anno Christi 500 usque ad annum 1500. Auctores antiquissimi. Tom. 15, Pars 2. — Legum Sectio IV: Constitutiones et acta publica imperatorum et regum. Tom. 6, Pars 1, Fasc. 2. — Necrologia Germaniae. Tom. 5. — Poetae latini medii aevi. Tom. 4, Pars 2. 1. — Scriptores rerum Merovingicarum. Tom. 6. Teils Berolini, teils Hannoverae et Lipsiae 1913–14.

Geologische Zentralstelle für die Deutschen Schutzgebiete.

Beiträge zur geologischen Erforschung der Deutschen Schutzgebiete. Heft 1. 5–7. 1913.

Königliche Bibliothek.

Monatsverzeichnis der an den Deutschen Universitäten und Technischen Hochschulen erschienenen Schriften. 1914, N. 1–4.

Königliches Geodätisches Institut, Potsdam.

Veröffentlichungen. Neue Folge. N. 59–63. Teils Potsdam, teils Berlin 1914.

Verhandlungen der vom 17. bis 27. September 1912 in Hamburg abgehaltenen 17. Allgemeinen Conferenz der Internationalen Erdmessung. Th. 2. Berlin 1914.

Zentralbureau der Internationalen Erdmessung. Neue Folge der Veröffentlichungen. N. 25. 1914.

Königliches Meteorologisches Institut.

Veröffentlichungen. N. 269–279. 1913–14.

Königliches Statistisches Landesamt.

Medizinalstatistische Nachrichten. Jahrg. 5, Heft 2. 3. 1913. 14.

Preußische Statistik. Heft 235–238. 1913–14.

Zeitschrift. Jahrg. 53, Abt. 3. 4. Jahrg. 54, Abt. 1–3. 1913. 14.

Königliche Geologische Landesanstalt.

Abhandlungen. Neue Folge. Heft 70–76. 1913.

Archiv für Lagerstätten-Forschung. Heft 10. 11. 13. 14. 1913–14.

Jahrbuch. Bd. 31. Tl. 1. Heft 3: Tl. 2. Heft 3. Bd. 32, Tl. 1. Heft 3. Bd. 34. Tl. 1, Heft 1. 2. 1910–13.

Zoologisches Museum.
Mitteilungen. Bd. 7, Heft 1. 2. 1913. 14.

Astrophysikalisches Observatorium, Potsdam.
Publikationen. Bd. 22, Stück 4–6. Bd. 23, Stück 1. Potsdam 1913.

Königliches Astronomisches Recheninstitut, Dahlem.
Berliner Astronomisches Jahrbuch für 1916.
Veröffentlichungen. N. 42. 1914.

Königliche Sternwarte, Babelsberg.
Beobachtungs-Ergebnisse. N. 16. 1914.

Deutsche Chemische Gesellschaft.
Berichte. Jahrg. 46, N. 16–18. Jahrg. 47, N. 1–16. 1913. 14.
Mitglieder-Verzeichnis. 1914.

Deutsche Entomologische Gesellschaft.
Deutsche Entomologische Zeitschrift. Jahrg. 1913, Heft 6 und Beiheft. Jahrg. 1914, Heft 1.

Deutsche Geologische Gesellschaft.
Zeitschrift. Bd. 65: Abhandlungen, Heft 4. Monatsberichte. N. 8–12. Bd. 66: Abhandlungen, Heft 1. 2. Monatsberichte. N. 1–5. 1913. 14.

Deutsche Physikalische Gesellschaft.
Die Fortschritte der Physik. Jahrg. 69, 1913, Abt. 1. 2. Braunschweig 1914.

Deutscher Seefischerei-Verein.
Mitteilungen. Bd. 29, N. 10–12. Bd. 30, N. 1–8. 1913. 14.

Botanischer Verein der Provinz Brandenburg.
Verhandlungen. Jahrg. 55. 1913.

Jahrbuch über die Fortschritte der Mathematik. Bd. 42, Heft 2. 3. Bd. 43, Heft 1. 1911. 12.

Landwirtschaftliche Jahrbücher. Bd. 45, Heft 3–5. Bd. 46 nebst Ergänzungsbd. 1913–14.

Internationale Monatsschrift für Wissenschaft, Kunst und Technik. Jahrg. 8, N. 3–12. 1913–14.

Bonn.

Verein von Altertumsfreunden im Rheinlande.
Bonner Jahrbücher. Heft 121. 1914.

Naturhistorischer Verein der Preußischen Rheinlande und Westfalens.
Sitzungsberichte. 1913, Hälfte 1.
Verhandlungen. Jahrg. 70, Hälfte 1. 1913.

Bremen.

Historische Gesellschaft des Künstlervereins.
Bremisches Jahrbuch. Bd. 25. 1914.

Naturwissenschaftlicher Verein.
Abhandlungen. Bd. 22, Heft 2. Bd. 23, Heft 1. 1914.

Erfurt.

Königliche Akademie gemeinnütziger Wissenschaften.
Jahrbücher. Neue Folge. Heft 39 und Sonderheft. 1913.

Frankfurt a. M.

Senckenbergische Naturforschende Gesellschaft.
Abhandlungen. Bd. 31, Heft 4. Bd. 34, Heft 4. Bd. 35, Heft 1. 1913–14.
Bericht. 44. 1913.

Physikalischer Verein.
Jahresbericht. 1912–13.

Freiburg i. Br.

Gesellschaft für Beförderung der Geschichts-, Altertums- und Volkskunde von Freiburg, dem Breisgau und den angrenzenden Landschaften.
Zeitschrift. Bd. 29. 1913.

Naturforschende Gesellschaft.
Berichte. Bd. 20, Heft 2. 1914.

Görlitz.

Oberlausitzische Gesellschaft der Wissenschaften.
Neues Lausitzisches Magazin. Bd. 89. 1913.

Göttingen.

Königliche Gesellschaft der Wissenschaften.
Abhandlungen. Neue Folge. Philologisch-historische Klasse. Bd. 15, N. 2–4. Berlin 1914.

Nachrichten. Geschäftliche Mitteilungen. 1914, Heft 1. — Mathematisch-physikalische Klasse. 1913. Heft 4. 1914, Heft 1. 2. — Philologisch-historische Klasse. 1913, Heft 2. 3 und Beiheft 2. 1914, Heft 1. Berlin 1913–14.

Greifswald.

Naturwissenschaftlicher Verein für Neuvorpommern und Rügen.
Mitteilungen. Jahrg. 44. 1912. Berlin 1913.

Halle a. S.

Kaiserliche Leopoldinisch-Carolinische Deutsche Akademie der Naturforscher.
Nova Acta. Tom. 98. 99. 1913.
Leopoldina. Heft 49, N. 11. 12. Heft 50, N. 1–10. 1913. 14.

Deutsche Morgenländische Gesellschaft.
Zeitschrift. Bd. 67, Heft 4. Bd. 68, Heft 1–3. Leipzig 1913. 14.

Naturforschende Gesellschaft.
Abhandlungen. Neue Folge. N. 2–4. 1913–14.
Mitteilungen. Bd. 3. 1913.

Hamburg.

Hamburgische Wissenschaftliche Anstalten.
Jahrbuch. Jahrg. 30. 1912 nebst Beiheft 1–11.

Mathematische Gesellschaft.
Mitteilungen. Bd. 5, Heft 3. Leipzig 1914.

Heidelberg.

Heidelberger Akademie der Wissenschaften.
Sitzungsberichte. Jahresheft. 1913. — Mathematisch-naturwissenschaftliche Klasse. Jahrg. 1913, Abt. A, Abh. 22–25; Abt. B, Abh. 9. Jahrg. 1914, Abt. A, Abh. 1. 2; Abt. B, Abh. 1. — Philosophisch-historische Klasse. Jahrg. 1913, Abh. 13. 14. Jahrg. 1914, Abh. 1.

Historisch-Philosophischer Verein.
Neue Heidelberger Jahrbücher. Bd. 18. 1914.

Kiel.

Astronomische Nachrichten. Bd. 196. 197. 1914.

Königsberg i. Pr.

Königliche Sternwarte.
Astronomische Beobachtungen. Abt. 43, Tl. 3. 1914.

Kolmar i. E.

Naturhistorische Gesellschaft.
Mitteilungen. Neue Folge. Bd. 12. 1913.

Leipzig.

Fürstlich Jablonowskische Gesellschaft.
Preisschriften. N. 43. 44. 1914.

Königlich Sächsische Gesellschaft der Wissenschaften.
Abhandlungen. Mathematisch-physische Klasse. Bd. 33, N. 1. 2. — Philologisch-historische Klasse. Bd. 29, N. 8. 9. Bd. 30, N. 1–3. 1913–14.
Berichte über die Verhandlungen. Mathematisch-physische Klasse. Bd. 65, Heft 2–5. Bd. 66, Heft 1. — Philologisch-historische Klasse. Bd. 65. 1913–14.

Annalen der Physik. Beiblätter. Bd. 37, Heft 24. Bd. 38, Heft 1–21. 1913. 14.

Lindenberg, Kr. Beeskow.

Königliches Aeronautisches Observatorium.
Arbeiten. Bd. 9. 1913. Braunschweig 1914.

Lübeck.

Verein für Lübeckische Geschichte und Altertumskunde.
Zeitschrift. Bd. 16, Heft 1. 1914.

Mainz.

Römisch-Germanisches Zentral-Museum und Verein zur Erforschung der Rheinischen Geschichte und Altertümer.
Mainzer Zeitschrift. Jahrg. 8. 9. 1913. 14.

München.

Königlich Bayerische Akademie der Wissenschaften.
Abhandlungen. Mathematisch-physikalische Klasse. Bd. 26, Abh. 7-10.

Suppl.-Bd. 2, Abh. 10. Suppl.-Bd. 3, Abh. 2. Suppl.-Bd. 4, Abh. 3. — Philosophisch-philologische und historische Klasse. Bd. 26, Abh. 6. 1913–14. — Register zu den Abhandlungen, Denkschriften und Reden 1807–1913. 1914.

Jahrbuch. 1913.

Sitzungsberichte. Mathematisch-physikalische Klasse. Jahrg. 1913, Heft 3. — Philosophisch-philologische und historische Klasse. Jahrg. 1913, Abh. 9–11 und Schlußheft. Jahrg. 1914, Abh. 1.

Vollmer, Friedrich. Über Fürsorge und Verständnis für römische Inschriften in Bayern. Festrede. 1913.

Nürnberg.

Germanisches Nationalmuseum.

Anzeiger. Jahrg. 1913.

Mitteilungen. Jahrg. 1913.

Posen.

Historische Gesellschaft für die Provinz Posen.

Historische Monatsblätter. Jahrg. 14. 1913.

Zeitschrift. Jahrg. 28. 1913.

Straßburg i. E.

Wissenschaftliche Gesellschaft.

Schriften. Heft 19–21. 1914.

Stuttgart.

Württembergische Kommission für Landesgeschichte.

Württembergische Vierteljahrshefte für Landesgeschichte. Neue Folge. Jahrg. 22, Heft 4. Jahrg. 23, Heft 1–3. 1913. 14.

Verein für vaterländische Naturkunde in Württemberg.

Jahreshefte. Jahrg. 70. 1914.

Thorn.

Coppernicus-Verein für Wissenschaft und Kunst.

Mitteilungen. Heft 21. 1913.

Wiesbaden.

Nassauischer Verein für Naturkunde.

Jahrbücher. Jahrg. 66. 1913.

Würzburg.

Physikalisch-Medicinische Gesellschaft.

Sitzungs-Berichte. Jahrg. 1913, N. 3–9.

Verhandlungen. Neue Folge. Bd. 42, N. 6. Bd. 43, N. 1. 1913. 14.

Historischer Verein von Unterfranken und Aschaffenburg.

Archiv. Bd. 55. 1913.

Jahres-Bericht. 1912.

Königlich Preußisches Historisches Institut, Rom.

Quellen und Forschungen aus Italienischen Archiven und Bibliotheken. Bd. 16, Heft 2. 1914.

Unternehmungen der Akademie und ihrer Stiftungen.

Das Pflanzenreich. Regni vegetabilis conspectus. Im Auftrage der Königl. preuss. Akademie der Wissenschaften hrsg. von A. Engler. Heft 58–61. Leipzig und Berlin 1913. 2 Ex.

Das Tierreich. Eine Zusammenstellung und Kennzeichnung der rezenten Tierformen. Begründet von der Deutschen Zoologischen Gesellschaft. Im Auftrage der Königl. Preuß. Akademie der Wissenschaften zu Berlin hrsg. von Franz Eilhard Schulze. Lief. 40–42. Berlin 1913–14. 2 Ex.

Politische Correspondenz Friedrich's des Grossen. Bd. 36. Berlin 1914. 2 Ex.

Inscriptiones Graecae consilio et auctoritate Academiae Litterarum Regiae Borussicae editae. Vol. 11, Fasc. 4. Inscriptiones Deli consilio et auctoritate Academiae Inscriptionum et humaniorum Litterarum Francogallicae editae. Fasc. 4. Ed. Petrus Roussel. Berolini 1914.

Kant's gesammelte Schriften. Hrsg. von der Königlich Preußischen Akademie der Wissenschaften. Bd. 16. Berlin 1914.

Burdach, Konrad. Vom Mittelalter zur Reformation. Forschungen zur Geschichte der deutschen Bildung. Im Auftrage der Königl. Preussischen Akademie der Wissenschaften hrsg. Bd. 2, Tl. 1, Hälfte 1. Berlin 1913.

Deutsche Texte des Mittelalters hrsg. von der Königlich Preußischen Akademie der Wissenschaften. Bd. 22. Das Väterbuch. Berlin 1914.

Wielands Gesammelte Schriften. Hrsg. von der Deutschen Kommission der Königlich Preußischen Akademie der Wissenschaften. Abt. 1, Bd. 10. Berlin 1913.

Corpus medicorum Graecorum auspiciis Academiarum associatarum ed. Academiae Berolinensis Havniensis Lipsiensis. V 9, 1. Galeni in Hippocratis de natura hominis comm. III ed. I. Mewaldt, in Hippocratis de victu acutorum comm. IV ed. G. Helmreich, de diaeta Hippocratis in morbis acutis ed. I. Westenberger. XI 2, 1. Pseudogaleni in Hippocratis de septimanis ed. G. Bergstraesser. Lipsiae et Berolini 1914.

Humboldt-Stiftung.

Bücking, H. Geologische Übersichtskarte der Rhön. Berlin 1914. 2 Ex.

Sievers, Wilhelm. Reise in Peru und Ecuador ausgeführt 1909. München und Leipzig 1914. (Wissenschaftliche Veröffentlichungen der Gesellschaft für Erdkunde zu Leipzig. Bd. 8.) 2 Ex.

Savigny-Stiftung.

Vocabularium Iurisprudentiae Romanae iussu Instituti Savigniani compositum. Tom. 4, Fasc. 1. Berolini 1914.

Eduard-Gerhard-Stiftung.

Weege, Fritz. Das goldene Haus des Nero. Neue Funde und Forschungen. Berlin 1913. Sep.-Abdr. 3 Ex.

Hermann-und-Elise-geb.-Heckmann-Wentzel-Stiftung.

Texte und Untersuchungen zur Geschichte der altchristlichen Literatur. Archiv für die von der Kirchenväter-Commission der Kgl. Preussischen Akademie der Wissenschaften unternommene Ausgabe der älteren christlichen Schriftsteller. Reihe 3. Bd. 10. Bd. 11, Hälfte 1. Leipzig 1914.

Beiträge zur Flora von Papuasien. Hrsg. von C. Lauterbach. Serie III. Leipzig und Berlin 1913.

Von der Akademie unterstützte Werke.

Berlet, Otto. Pergamon und Umgebung. Zwei Karten. Berlin 1914. (Aus Altertümer von Pergamon. Bd. 1.)

Leonhardi Euleri opera omnia. Sub auspiciis Societatis Scientiarum naturalium Helveticae edenda cur. Ferdinand Rudio, Adolf Krazer, Paul Stäckel. Ser. I, Vol. 12. Lipsiae et Berolini 1914. 40 Ex.

Gohlke, Kurt. Die Brauchbarkeit der Serum-Diagnostik für den Nachweis zweifelhafter Verwandtschaftsverhältnisse im Pflanzenreiche. Stuttgart und Berlin 1913. 2 Ex.

Neugebauer, Paul V. Tafeln zur astronomischen Chronologie II. Tafeln für Sonne, Planeten und Mond nebst Tafeln der Mondphasen für die Zeit 4000 vor Chr. bis 3000 nach Chr. Leipzig 1914.

SACHAU, EDUARD. Syrische Rechtsbücher. Bd. 3. Berlin 1914. 2 Ex.

TESSMANN, GÜNTER. Die Pangwe. Völkerkundliche Monographie eines westafrikanischen Negerstammes. Bd. 2. Berlin 1913.

VON AUWERS, ARTHUR. Bearbeitung der Bradley'schen Beobachtungen an den alten Meridianinstrumenten der Greenwicher Sternwarte. Bd. 2. 3. Leipzig 1913. 14.

———. Ergebnisse aus Vergleichungen des Küstner'schen Catalogs von 10663 Sternen für 1900 mit anderen Sternverzeichnissen. Kiel 1914. Sep.-Abdr.

BRANCA, WILHELM. Über die Saurier des Tendaguru. 1911. Sep.-Abdr.

———. Aufpressung und Explosion oder nur Explosion im vulkanischen Ries bei Nördlingen? 1913. Sep.-Abdr.

———. Henry Potonié. 1913. Sep.-Abdr.

———. Über das Verhältnis der Geographie zur Geologie-Paläontologie und die Frage einer Teilung der Geologie-Paläontologie. 1913. Sep.-Abdr.

———. Ein Wort über die Ries-Hypothesen. Karlsruhe 1913. Sep.-Abdr.

Shakespeares Sonette. Erläutert von ALOIS BRANDL. Übers. von Ludwig Fulda. Stuttgart und Berlin 1913.

BURDACH, KONRAD. Richard Wagner. Weiherede bei der Zentenarfeier seiner Geburt am 22. Mai 1913. Berlin 1913. Sep.-Abdr.

DIELS, HERMANN. Antike Technik. 6 Vorträge. Leipzig und Berlin 1914.

———. Zu Eduard Zellers hundertstem Geburtstag. Berlin 1914. Sep.-Abdr.

———. Wissenschaft und Technik bei den Hellenen. 1914. Sep.-Abdr.

ENGLER, ADOLF. Beiträge zur Flora von Afrika. XLI. XLII. Leipzig und Berlin 1913.

———. Pflanzengeographie. Leipzig und Berlin 1914. Sep.-Abdr.

ERDMANN, BENNO. Über den modernen Monismus. Rede. Berlin 1914.

FISCHER, EMIL, und BECKMANN, ERNST. Das Kaiser-Wilhelm-Institut für Chemie Berlin-Dahlem. Braunschweig 1913.

FISCHER, EMIL. Über einige Acylderivate der Glucose und Mannose. Mit Rudolf Oetker. Berlin 1913. Sep.-Abdr.

———. Über Carbomethoxy-Derivate der Oxy-Säuren. Mit Hermann O. L. Fischer. Berlin 1913. Sep.-Abdr.

———. Über die Carbomethoxy-Derivate der Phenol-carbonsäuren und ihre Verwendung für Synthesen. VIII. Mit Hermann O. L. Fischer. IX. Mit Max Rapaport. Berlin 1913. Sep.-Abdr.

———. Über Furoyl-ameisensäure und Furyl-glykolsäure. Mit Fritz Brauns. Berlin 1913. Sep.-Abdr.

———. Ueber eine neue Klasse von lipoiden Arsenverbindungen. Mit Georg Klemperer. Berlin und Wien 1913. Sep.-Abdr.

———. Methylderivate der δ-Aminovaleriansäure und des dl-Ornithins. Mit Max Bergmann. Leipzig 1913. Sep.-Abdr.

———. Synthese von Depsiden, Flechtenstoffen und Gerbstoffen. Berlin 1913. Sep.-Abdr.

———. Über das Tannin und die Synthese ähnlicher Stoffe. III. Mit Karl Freudenberg. Berlin 1913. Sep.-Abdr.

———. 1. Über polymeren Tetramethylenharnstoff. — 2. Über einige Pyrrol-Derivate. Berlin 1913. Sep.-Abdr.

GOLDSCHMIDT, ADOLF. Die Elfenbeinskulpturen aus der Zeit der karolingischen und sächsischen Kaiser, VIII.–XI. Jahrhundert. Bd. 1. Berlin 1914. (Denkmäler der deutschen Kunst. Hrsg. vom Deutschen Verein für Kunstwissenschaft.)

Haberlandt, Gottlieb. Physiological Plant Anatomy. Translated by Montagu Drummond. London 1914.

Koser, Reinhold. Geschichte Friedrichs des Großen. 4. und 5. Aufl. Bd. 3. 4. Stuttgart und Berlin 1913. 14.

Martens, Adolf. Jahresbericht 1912 des Königlichen Materialprüfungsamtes der Technischen Hochschule zu Berlin. 1913. Sep.-Abdr.

———. Ueber die Brauchbarkeit des Federmanometers für die Messung großer Kräfte im Materialprüfungswesen. 1914. Sep.-Abdr.

Meyer, Eduard. Reich und Kultur der Chetiter. Berlin 1914. (Kunst und Altertum. Bd. 1.)

Morf, Heinrich. Geschichte der französischen Literatur im Zeitalter der Renaissance. 2. Aufl. Strassburg 1914.

Nernst, Walter. Thermodynamische Berechnung des Dampfdruckes von Wasser und Eis. Braunschweig 1910. Sep.-Abdr.

———. Sur les chaleurs spécifiques aux basses températures et le développement de la thermodynamique. Tours 1910. Sep.-Abdr.

———. Sur la détermination de l'affinité chimique à partir des données thermiques. Genève et Paris 1910. Sep.-Abdr.

———. Das physikalisch-chemische Institut der Universität Berlin. 1910. Sep.-Abdr.

———. Zur Theorie der anisotropen Flüssigkeiten. 1910. Sep.-Abdr.

———. Spezifische Wärme und chemisches Gleichgewicht des Ammoniakgases. 1910. Sep.-Abdr.

———. Über einen Apparat zur Verflüssigung von Wasserstoff. 1911. Sep.-Abdr.

———. Der Energieinhalt fester Stoffe. Leipzig 1911. Sep.-Abdr.

———. Über ein allgemeines Gesetz, das Verhalten fester Stoffe bei sehr tiefen Temperaturen betreffend. 1911. Sep.-Abdr. aus: »Physikalische Zeitschrift«. Jahrg. 12.

———. Über ein allgemeines Gesetz, das Verhalten fester Stoffe bei sehr tiefen Temperaturen betreffend. Braunschweig 1911. Sep.-Abdr. aus: »Verhandlungen der Deutschen Physikalischen Gesellschaft.« Jahrg. 13.

———. Zur Theorie der spezifischen Wärme und über die Anwendung der Lehre von den Energiequanten auf physikalisch-chemische Fragen überhaupt. 1911. Sep.-Abdr.

———. Ueber die Unverträglichkeit des von mir aufgestellten Wärmetheorems mit der Gleichung von van der Waals bei sehr tiefen Temperaturen. 1911. Sep.-Abdr.

———. Spezifische Wärme und Quantentheorie. Mit F. A. Lindemann. 1911. Sep.-Abdr.

———. Der Energieinhalt der Gase. 1912. Sep.-Abdr.

———. Zur neueren Entwickelung der Thermodynamik. Braunschweig 1912. Sep.-Abdr.

———. Richard Abegg. Nachruf. Berlin 1913. Sep.-Abdr.

———. Das Gleichgewichtsdiagramm der beiden Schwefelmodifikationen. Leipzig 1913. Sep.-Abdr.

———. Über den maximalen Nutzeffekt von Verbrennungsmotoren. 1913. Sep.-Abdr.

Orth, Johannes. Bericht über das Leichenhaus des Charité-Krankenhauses für das Jahr 1912. 1913. Sep.-Abdr.

———. Ärztliche Obergutachten. 1913. Sep.-Abdr.

———. Referat über Ribbert, Hugo, Das Carcinom des Menschen, sein Bau, sein Wachstum, seine Entstehung. Berlin 1913. Sep.-Abdr.

Planck, Max. Bericht über die Feier zum Gedächtnis des Stifters der Berliner Universität König Friedrich Wilhelms III am 3. August 1914. Berlin 1914.

Roethe, Gustav. Wir Deutschen und der Krieg. Rede. Berlin 1914. (Deutsche Reden in schwerer Zeit. 1.)

———. Vom Tode fürs Vaterland. Rede. Berlin 1914. (Unterm Eisernen Kreuz 1914. Heft 11.)

———. Goethes Helden und der Urmeister. Weimar 1914. Sep.-Abdr.

Rubner, Max. Das Wesen des Wachstums. Berlin 1913. (27. Flugschrift der Deutschen Gesellschaft für Züchtungskunde.)

———. Max. Das »belegte Brot« und seine Bedeutung für die Volksernährung. Mit Dr. Schulze (Dar-es-Salam). München 1913. Sep.-Abdr.

———. Über Hefeforschung. 1913. Sep.-Abdr.

———. Über moderne Ernährungsreformen. München und Berlin 1914.

———. Aus dem Leben einer Zelle. København 1914.

Schäfer, Dietrich. Hanserecesse von 1477–1530. Bd. 9. Mit Friedrich Techen. München und Leipzig 1913. (Hanserecesse. Abth. 3. Hrsg. vom Verein für Hansische Geschichte.)

von Schmoller, Gustav. Neuere Arbeiten über Geldwertveränderung und neuere Preissteigerung. 1913. Sep.-Abdr.

———. Die Demokratie auf der Anklagebank. 1913. Sep.-Abdr.

———. Die Hetze von Alexander Tille und Konsorten gegen Lujo Brentano. 1913. Sep.-Abdr.

Schuchhardt, Karl. Denkschrift über die Notwendigkeit eines gesetzlichen Schutzes der Bodenaltertümer in Preußen. Kulturgeschichtliche Bodenaltertümer. 1913.

———. Königl. Museen zu Berlin. Führer durch die vorgeschichtliche Abteilung. Berlin 1913.

———. Ausgrabungen am Limes Saxoniae. Lübeck 1913. Sep.-Abdr.

———. Der Goldfund vom Messingwerk bei Eberswalde. Berlin 1914.

Gai institutionum commentarii quattuor. Tertium ed. Emil Seckel et B. Kuebler. Lipsiae 1913. (Bibliotheca script. Graec. et Roman. Teubneriana.)

Seckel, Emil. Gedächtnisrede auf Konrad Hellwig. Berlin 1913. Sep.-Abdr.

———. Benedictus Levita decurtatus et excerptus. München und Leipzig 1914. Sep.-Abdr.

———. Studien zu Benedictus Levita. VIII. (Studie VIII, Teil I). Hannover und Leipzig 1914. Sep.-Abdr.

Seler, Eduard. Similarity of Design of some Teotihuacan Frescoes and certain Mexican Pottery Objects. 1913. Sep.-Abdr.

———. Ueber einige ältere Systeme in den Ruinen von Uxmal. 1913. Sep.-Abdr.

———. Gesammelte Abhandlungen zur Amerikanischen Sprach- und Alterthumskunde. Wort- und Sachregister zum ersten, zweiten und dritten Bande. Berlin 1914.

Waldeyer, Wilhelm. Besprechung des Werkes von A. von Froriep: Der Schädel Friedrich von Schillers und des Dichters Begräbnisstätte. Jena 1914. Sep.-Abdr.

———. Scholia topographica. Stuttgart 1914. Sep.-Abdr.

Aeschyli tragoediae ed. Udalricus de Wilamowitz-Moellendorff. Berolini 1914.

von Wilamowitz-Moellendorff, Ulrich. Aischylos. Interpretationen. Berlin 1914.

Zimmermann, Hermann. Handbuch der Ingenieurwissenschaften. Tl. 5: Der Eisenbahnbau. Hrsg. von F. Loewe und H. Zimmermann. Bd. 6. Lief. 3. 4 und Anhang. Leipzig 1910–13.

———. Über Schwingungsversuche mit einem Flugzeug. 1913. Sep.-Abdr.

Dilthey, Wilhelm. Gesammelte Schriften. Bd. 2. Leipzig und Berlin 1914.
Mommsen, Theodor. Gesammelte Schriften. Bd. 8. Berlin 1913.

Adickes, Erich. Ein neu aufgefundenes Kollegheft nach Kants Vorlesung über physische Geographie. Tübingen 1913.
Berlin und seine Universität. Ein Führer für Studierende. Hrsg. von der Amtlichen Akademischen Auskunftsstelle an der Universität Berlin. Berlin 1914.
Erman, Wilhelm. Jean Pierre Erman (1735–1814). Berlin 1914.
Gesamt-Zeitschriften-Verzeichnis. Hrsg. vom Auskunftsbureau der deutschen Bibliotheken. Berlin 1914.
Karl Robert Lessings Bücher- und Handschriftensammlung hrsg. von Gotthold Lessing. Bd. 1. Berlin 1914.
Der obergermanisch-raetische Limes des Roemerreiches. Im Auftrage der Reichs-Limeskommission hrsg. von Ernst Fabricius. Lief. 38. 39. Heidelberg 1913.
Loofs, Friedrich. Nestorius and his Place in the History of Christian Doctrine. Cambridge 1914.
Putzger, Walter. Hippocratis quae feruntur epistulae ad codicum fidem recensitae. Wurzeni 1914. Schul-Progr.
Schmiedeknecht, Otto. Opuscula Ichneumonologica. Fasc. 36. 37. Blankenburg i. Thür. 1914. 2 Ex.

Oesterreich-Ungarn.

Brünn.

Mährische Museumsgesellschaft.
Tschechische Sektion. Časopis Moravského Musea Zemského. Ročník 14, Čislo 1. 1914.
Deutscher Verein für die Geschichte Mährens und Schlesiens.
Zeitschrift. Jahrg. 18. 1914.
Naturforschender Verein.
Verhandlungen. Bd. 51. 1912.

Graz.

Historischer Verein für Steiermark.
Beiträge zur Erforschung steirischer Geschichte. Jahrg. 37–40. 1914.
Zeitschrift. Jahrg. 11, Heft 3. 4. 1913.
Naturwissenschaftlicher Verein für Steiermark.
Mitteilungen. Bd. 49. 1912.

Innsbruck.

Ferdinandeum für Tirol und Vorarlberg.
Zeitschrift. Folge 3. Heft 57. 1913.
Naturwissenschaftlich-Medizinischer Verein.
Berichte. Jahrg. 34. 1910–12.

Klagenfurt.

Geschichtsverein für Kärnten.
Carinthia I. Jahrg. 103. 1913.
Jahres-Bericht. 1912.
Naturhistorisches Landesmuseum für Kärnten.
Carinthia II. Jahrg. 103. N. 4–6. 1913.

Krakau.

Kaiserliche Akademie der Wissenschaften.
Rocznik. Rok 1912–13.
Rozprawy. Wydział filologiczny. Ser. 3. Tom 6. 7. 1913.
Archiwum Komisyi historycznej. Tom 11. 1909–13.
Archiwum Komisyi prawniczej. Tom 9. 1913.
Sprawozdania Komisyi do badania historyi sztuki w Polsce. Tom 9, Zeszyt 1. 2. 1913.

Lemberg.

Polnische Gesellschaft zur Förderung der Wissenschaften.
Bulletin. 13. 1913.
Ševčenko-Gesellschaft der Wissenschaften.
Chronik. N. 51–54. 1912–13.
Zapiski. Tom 116–118. 121. 1913–14.
Zbirnik matematično-prirodopisno-likarškoї sekciї. Tom 15, Vip. 2. 1913.
Zbirnik istorično-fil'osofičnoї sekciї. Tom 16. 1914.
Ukraïnsko-ruškij archiv. Tom 9. 10. 1913. 14.

Materijali do ukraïnśkoï etnol'ogiï. Tom 14. 1913.

Etnografičnij zbirnik. Tom 35. 36. 1914.

Žerela do istoriï ukraïni-rusi. Tom 6. 1913.

Linz.

Museum Francisco-Carolinum.

Jahres-Bericht. 72. 1914.

Prag.

Gesellschaft zur Förderung deutscher Wissenschaft, Kunst und Literatur in Böhmen.

Rechenschafts-Bericht über die Tätigkeit der Gesellschaft. 1913.

Königlich Böhmische Gesellschaft der Wissenschaften.

Spisy poctěné jubilejni cenou. Číslo 20. 1913.

Deutscher Naturwissenschaftlich-Medizinischer Verein für Böhmen »Lotos«.

Lotos. Naturwissenschaftliche Zeitschrift. Bd. 61. 1913.

Rovereto.

Imperiale Reale Accademia Roveretana degli Agiati.

Atti. Ser. 4. Vol. 2. 1913.

Trient.

Biblioteca e Museo comunali.

Archivio Trentino. Anno 28, Fasc. 3. 4. 1913.

Wien.

Kaiserliche Akademie der Wissenschaften.

Anzeiger. Mathematisch-naturwissenschaftliche Klasse. Jahrg. 50. — Philosophisch-historische Klasse. Jahrg. 50. 1913.

Denkschriften. Mathematisch-naturwissenschaftliche Klasse. Bd. 82. 88. — Philosophisch-historische Klasse. Bd. 55, Abh. 5. Bd. 57, Abh. 2. 1913–14.

Sitzungsberichte. Mathematisch-naturwissenschaftliche Klasse. Bd. 122: Abt. I, Heft 1–7. Abt. IIa, Heft 2–8. Abt. IIb, Heft 1–8. Abt. III. — Philosophisch-historische Klasse. Bd. 170, Abh. 4. Bd. 172, Abh. 2. 4. Bd. 173, Abh. 1. 2. 4. 6. Bd. 174, Abh. 1–3. Bd. 175, Abh. 1. 1913.

Archiv für österreichische Geschichte. Bd. 102, Hälfte 2. Bd. 103. Bd. 104, Hälfte 1. 1913–14.

Mitteilungen der prähistorischen Kommission. Bd. 2, N. 2. 1912.

Anthropologische Gesellschaft.

Mitteilungen. Bd. 43, Heft 6. Bd. 44, Heft 1–5. 1913. 14.

K. k. Geographische Gesellschaft.

Abhandlungen. Bd. 11, N. 2. 1914.

Mitteilungen. Bd. 56, N. 11. 12. Bd. 57, N. 1–10. 1913. 14.

K. k. Zoologisch-Botanische Gesellschaft.

Verhandlungen. Bd. 63, Heft 9. 10. Bd. 64, Heft 1–4. 1913. 14.

K. k. Österreichisches Archäologisches Institut.

Jahreshefte. Bd. 16, Heft 1. 1913.

Sonderschriften. Bd. 8. 1914.

K. k. Geologische Reichsanstalt.

Abhandlungen. Bd. 22, Heft 4. 1914.

Jahrbuch. Bd. 63, Heft 3. 4. 1913.

Verhandlungen. Jahrg. 1913, N. 13–18. Jahrg. 1914, N. 1.

Österreichischer Touristen-Klub, Sektion für Naturkunde.

Mitteilungen. Jahrg. 25, N. 11. 12. Jahrg. 26, N. 1–10. 1913. 14.

Verein zur Verbreitung naturwissenschaftlicher Kenntnisse.

Schriften. Bd. 54. 1913–14.

K. k. Zentral-Kommission für Denkmalpflege.

Jahrbuch für Altertumskunde. Bd. 5, Heft 4. Bd. 7, Heft 1. 1911. 13.

Jahrbuch des kunsthistorischen Institutes. Bd. 6. 7. 1912. 13.

Mitteilungen. Folge 3. Bd. 12, N. 6–12. 1913.

Agram.

Südslavische Akademie der Wissenschaften und Künste.

Rad. Knjiga 199. 200. 1913.

Monumenta spectantia historiam Slavorum meridionalium. Vol. 34. 1913.

Starine. Knjiga 34. 1913.

Zbornik za narodni život i običaje južnih Slavena. Knjiga 18, Svezak 2. 1913.

Mažuranić, Vladimir. Prinosi za hrvatski pravno-povjestni rječnik. Svezak 4. 1913.

Rječnik hrvatskoga ili srpskoga jezika. Svezak 32. 1913.

Smičiklas, T. Codex diplomaticus regni Croatiae, Dalmatiae et Slavoniae. Vol. 11. 1913.

Budapest.

Ungarische Geologische Gesellschaft.

Földtani Közlöny. (Geologische Mitteilungen.) Kötet 43, Füzet 4–9. 1913.

Königlich Ungarische Geologische Reichsanstalt.

Mitteilungen aus dem Jahrbuche. Bd. 21, Heft 2. 3. 1913.

Königlich Ungarische Ornithologische Zentrale.

Aquila. Zeitschrift für Ornithologie. Jahrg. 20. 1913.

Hermannstadt.

Verein für Siebenbürgische Landeskunde.

Archiv. Neue Folge. Bd. 39, Heft 2. 1913.

Jahresbericht. 1913.

Siebenbürgischer Verein für Naturwissenschaften.

Verhandlungen und Mitteilungen. Bd. 63. 1913.

Presburg.

Verein für Natur- und Heilkunde.

Verhandlungen. Neue Folge. Bd. 21–23. 1909–12.

Luschin von Ebengreuth, Arnold. Handbuch der österreichischen Reichsgeschichte. 2. Aufl. Bd. 1. Bamberg 1914.

Großbritannien und Irland mit Kolonien.

Birmingham.

Natural History and Philosophical Society.

Annual Report. 20. 1913.

Cambridge.

Philosophical Society.

Proceedings. Vol. 17, Part 4–6. 1913–14.

Transactions. Vol. 22, N. 3. 4. 1913. 14.

Dublin.

Royal Irish Academy.

Proceedings. Vol. 31, Part 9. 47. 64. Vol. 32: Section B. N. 3. Section C. N. 6–9. 11. 1913–14.

Royal Dublin Society.

Economic Proceedings. Vol. 2, N. 7. 1914.

Scientific Proceedings. New Ser. Vol. 14, N. 8–16. 1914.

Edinburg.

Royal Society of Edinburgh.

Proceedings. Vol. 33, Part 4. Vol. 34, Part 1. 2. 1914.

Transactions. Vol. 49, Part 2. 1913.

Royal Physical Society.

Proceedings. Vol. 19, N. 4. 5. 1913. 14.

Glasgow.

Royal Philosophical Society.

Proceedings. Vol. 44. 1912–13.

London.

British Academy.

Proceedings. 1911–1912.

British Association for the Advancement of Science.

Report of the 83. Meeting. 1913.

Cunningham, Allan. A Binary Canon, showing Residues of Powers of 2 for Divisors under 1000, and Indices to Residues. London 1900.

Imperial Bureau of Entomology.

The Review of Applied Entomology. Ser. A. Vol. 1, Part 11. 12. Vol. 2, Part 1–6. — Ser. B. Vol. 1, Part 11. 12. Vol. 2, Part 1–6. 1913–14.

Chemical Society.

Journal. Vol. 103. 104, N. 613. 614. Suppl. N. Vol. 105. 106, N. 615–621. 1913–14.

Proceedings. Vol. 29, N. 420–422. Vol. 30, N. 423–432. 1913. 14.

Society of Chemical Industry.

Journal. Vol. 32, N. 22–24. Index. Vol. 33, N. 1–13. 1913. 14.

List of Members. 1914.

Geological Society.

Quarterly Journal. Vol. 69, N. 276. Vol. 70, N. 277. 278. 1913. 14.

List. 1914.

Geological Literature added to the Library. 19. 1912.

Linnean Society.

Journal. Botany. Vol. 41. N. 284. Vol. 42, N. 285. 286. — Zoology. Vol. 32. N. 217. 1913–14.

Transactions. Ser. 2. Botany. Vol. 8, Part 3–6. — Zoology. Vol. 16, Part 2–4. 1913–14.

Mathematical Society.

Proceedings. Ser. 2. Vol. 13. Part 1–5. 1913–14.

Royal Society.

Proceedings. Ser. A. Vol. 89, N. 612–614. Vol. 90, N. 615–621. — Ser. B. Vol. 87, N. 594–599. 1914.

Philosophical Transactions. Ser. A. Vol. 213. — Ser. B. Vol. 204. 1914.

Year-Book. N. 18. 1914.

Royal Asiatic Society of Great Britain and Ireland.

Journal. 1914. Part 1–3.

Royal Astronomical Society.

Memoirs. Vol. 60. Part 3. 4. 1913. 14.

Monthly Notices. Vol. 74, N. 1–8. 1913–14.

Royal Geographical Society.

The Geographical Journal. Vol. 42, N. 6. Vol. 43. Vol. 44, N. 1. 1913–14.

Royal Microscopical Society.

Journal. 1913, Part 6. 1914, Part 1–3.

Zoological Society.

Proceedings. 1913, Part 4. 1914. Part 1. 2.

Reports of the Council and Auditors. 1913.

Transactions. Vol. 20, Part 5–10. 1914.

Manchester.

Literary and Philosophical Society.

Memoirs and Proceedings. Vol. 57. Part 3. Vol. 58, Part 1. 1913. 14.

Wright, C. T. Hagberg, and Purnell, C. J. Catalogue of the London Library. Vol. 1. 2. London 1913. 14.

Calcutta.

Indian Association for the Cultivation of Science.

Bulletin. N. 9. 1913.

Indian Museum.

Memoirs. Vol. 4, N. 1. 1913.

Records. Vol. 8, Part 3. 4. Vol. 9, Part 3–5. Vol. 10, Part 1. 1913–14.

Annual Report. 1912–13.

Asiatic Society of Bengal.

Journal and Proceedings. Vol. 75, Part 3. New Ser. Vol. 9. N. 7–11. Vol. 10, N. 1–4. 1913–14.

Memoirs. Vol. 3, N. 9. Vol. 5, N. 1. 1913–14.

Archaeological Survey of India.

Epigraphia Indica and Record. Vol. 11, Part 6. 7. 1912.

Epigraphia Indo-Moslemica. 1911–12.

Annual Report. 1911–12, Part 1.

Capstadt.

South African Association for the Advancement of Science.

The South African Journal of Science. Vol. 10, N. 3–11. 1913–14.

Royal Society of South Africa.

Transactions. Vol. 3, Part 3. Vol. 4, Part 1. 1913. 14.

Halifax, Nova Scotia.

Nova Scotian Institute of Science.

Proceedings and Transactions. Vol. 12, Part 4. 1909–10.

Toronto.

Canadian Institute.

Transactions. Vol. 10, Part 1. 1913.

Year Book and Annual Report. 1912–13.

Royal Astronomical Society of Canada.
Journal. Vol. 7, N. 4–6. Vol. 8, N. 1. 1913. 14.

Adelaide.

Royal Society of South Australia.
Memoirs. Vol. 1, Part 4. Vol. 2, Part 4. 1912–13.
Transactions and Proceedings. Vol. 37. 1913.

Brisbane.

Queensland Museum.
Memoirs. Vol. 2. 1913.

Melbourne.

Royal Society of Victoria.
Proceedings. New Ser. Vol. 26, Part 2. 1914.

Sydney.

Australian Museum.
Records. Vol. 9, N. 4. Vol. 10, N. 6. 7. 1913.
Report of the Trustees. 59. 1913.
Special Catalogue. N. 1, Vol. 4, Part 3. 1913.

Royal Society of New South Wales.
Journal and Proceedings. Vol. 47, Part 2. 3. 1913.

Dänemark, Schweden und Norwegen.

Kopenhagen.

Conseil permanent international pour l'Exploration de la Mer.
Bulletin statistique des pêches maritimes des pays du Nord de l'Europe. Vol. 7. 1910.
Bulletin trimestriel des résultats acquis pendant les croisières périodiques et dans les périodes intermédiaires: Résumé des observations sur le plankton 1902–1908. Partie 3. 1913.
Publications de Circonstance. N. 66. 1913.
Rapports et Procès-verbaux. Vol. 16. 18–20. 1913–14.

Kongelige Danske Videnskabernes Selskab.
Oversigt over Forhandlinger. 1913, N. 3–6. 1914, N. 1. 2.
Skrifter. Række 7. Naturvidenskabelig og mathematisk Afdeling. Bind 10, N. 3. 4. Bind 11, N. 1–3. — Historisk og filosofisk Afdeling. Bind 2, N. 3. 1913 –14.

Gothenburg.

Eranos. Acta philologica Suecana. Vol. 13, Fasc. 3. 1913.

Stockholm.

Svenska Fornskrift-Sällskapet.
Samlingar. Häftet 144. 1914.

Kungliga Svenska Vetenskapsakademien.
Arkiv för Botanik. Bd. 12, Häfte 3. 4. Bd. 13, Häfte 1. 1913.
Arkiv för Kemi, Mineralogi och Geologi. Bd. 4, Häfte 6. Bd. 5, Häfte 1. 2. 1913.
Arkiv för Matematik, Astronomi och Fysik. Bd. 8, Häfte 3. 4. Bd. 9, Häfte 1. 2. 1913.
Arkiv för Zoologi. Bd. 8, Häfte 1. 1913.
Årsbok. 1913 nebst Bihang.
Handlingar. Ny Följd. Bd. 50, N. 2–9. 1913.
Meteorologiska Iakttagelser i Sverige. Bandet 54. 1912.
Meddelanden från K. Vetenskapsakademiens Nobelinstitut. Bd. 2, Häfte 3. 4. 1913.

Kungliga Vitterhets Historie och Antikvitets Akademien.
Fornvännen. Årg. 8, Häft 3. 4. Årg. 9, Häft 1–3. 1913. 14.
Antikvarisk Tidskrift för Sverige. Delen 20, Häftet 1. 1914.

Acta mathematica. Zeitschrift hrsg. von G. Mittag-Leffler. Bd. 37, Heft 1–3. 1913–14.
Les prix Nobel en 1912.

Uppsala.

Kungliga Humanistiska Vetenskaps-Samfundet.
Hildebrand, Karl, och Bratt, Arnold. Urkunder rörande Stockholms historia. I. Häftet 4. 1913.

Bergen.

Museum.
Aarbok. 1913. Hefte 3.

Christiania.

Nyt Magazin for Naturvidenskaberne. Bind 49. 50. 1911. 12.

Drontheim.

Det Kongelige Norske Videnskabers Selskab.
Skrifter. 1912.

Stavanger.

Museum.
Aarshefte. Aarg. 24. 1913.

Schweiz.

Aarau.

Historische Gesellschaft des Kantons Aargau.
Argovia. Bd. 35. 1913.
Taschenbuch. 1914.

Basel.

Naturforschende Gesellschaft.
Verhandlungen. Bd. 24. 1913.

Bern.

Naturforschende Gesellschaft.
Mitteilungen. 1913.

Schweizerische Naturforschende Gesellschaft.
Neue Denkschriften. Bd. 48. 49. Zürich 1913. 14.
Verhandlungen. 96. Jahresversammlung. Tl. 1. 2. 1913.

Genf.

Société de Physique et d'Histoire naturelle.
Compte rendu des séances. 30. 1913.
Mémoires. Vol. 37, Fasc. 4. Vol. 38, Fasc. 1. 1913. 14.
Journal de Chimie physique. Tome 11, N. 5. Tome 12, N. 1–3. 1913. 14.

Lausanne.

Société Vaudoise des Sciences naturelles.
Bulletin. Sér. 5. Vol. 49, N. 181. Vol. 50, N. 182. 183. 1913. 14.

Luzern.

Historischer Verein der fünf Orte Luzern, Uri, Schwyz, Unterwalden und Zug.
Der Geschichtsfreund. Bd. 67. Stans 1912.

Neuchâtel.

Société des Sciences naturelles.
Bulletin. Tome 40. 1912–13.

Zürich.

Allgemeine Geschichtforschende Gesellschaft der Schweiz.
Jahrbuch für Schweizerische Geschichte. Bd. 39. 1914.

Antiquarische Gesellschaft.
Mitteilungen. Bd. 25, Heft 4. 1914.

Naturforschende Gesellschaft.
Astronomische Mitteilungen. N. 104. 1914.
Neujahrsblatt. Stück 116. 1914.
Vierteljahrsschrift. Jahrg. 58, Heft 3. 4. Jahrg. 59, Heft 1. 2. 1913. 14.

Schweizerisches Landesmuseum.
Anzeiger für Schweizerische Altertumskunde. Neue Folge. Bd. 15, Heft 4. Bd. 16, Heft 1–3. 1913. 14.
Jahresbericht. 22. 1913.

Université de Genève. Remise du buste de Pierre Prevost par la Faculté des Sciences. 5 Juin 1913. Genève 1913.

Niederlande und Niederländisch-Indien. Luxemburg.

Amsterdam.

Koninklijke Akademie van Wetenschappen.
Jaarboek. 1913.
Verhandelingen. Afdeeling Natuurkunde. Sectie 2. Deel 18, N. 1–3. — Afdeeling Letterkunde. Nieuwe Reeks. Deel 14, N. 2–5. 1913–14.
Verslag van de gewone Vergaderingen der Wis- en Natuurkundige Afdeeling. Deel 22, Gedeelte 1. 2. 1913–14.
Verslagen en Mededeelingen. Afdeeling Letterkunde. Reeks 4. Deel 12. 1914.

Koninklijk Zoölogisch Genootschap »Natura Artis Magistra«.
Bijdragen tot de Dierkunde. Afl. 19. Leiden 1913.

Haag.

Koninklijk Instituut voor de Taal-, Land- en Volkenkunde van Nederlandsch-Indië.
Bijdragen tot de Taal-, Land- en Volkenkunde van Nederlandsch-Indië. Deel 69. Deel 70, Afl. 1. 1914.
Naamlijst der leden. 1914.

Haarlem.

Hollandsche Maatschappij der Wetenschappen.
Archives Néerlandaises des Sciences exactes et naturelles. Sér. 3 A. Tome 3, Livr. 3. 4. Sér. 3 B. Tome 2, Livr. 1. La Haye 1914.

Leiden.

Maatschappij der Nederlandsche Letterkunde.
Handelingen en Mededeelingen. 1912–13.
Levensberichten der afgestorven Medeleden. 1912–13.
Tijdschrift voor Nederlandsche Taal- en Letterkunde. Deel 32. 1913.

Mnemosyne. Bibliotheca philologica Batava. Nova Ser. Vol. 42. 1914.

Museum. Maandblad voor Philologie en Geschiedenis. Jaarg. 21, N. 3–12. Jaarg. 22, N. 1. 2. 1913–14.

Nimwegen.

Nederlandsche Botanische Vereeniging.
Nederlandsch kruidkundig Archief. 1913.
Recueil des Travaux Botaniques Néerlandais. Vol. 10. 1913.

Academia Groningana 1614–1914. Gedenkboek ter gelegenheid van het derde eeuwfeest der universiteit te Groningen. Groningen 1914.

Batavia.

Oudheidkundig Dienst in Nederlandsch-Indië.
Oudheidkundig Verslag. 1913. 1914, Kwartaal 1.

Bataviaasch Genootschap van Kunsten en Wetenschappen.
Notulen van de algemeene en Directievergaderingen. Deel 51. 1913.
Tijdschrift voor Indische Taal-, Land- en Volkenkunde. Deel 55, Afl. 4–6. Deel 56, Afl. 1. 2. 1913. 14.
Verhandelingen. Deel 60. 1913.

Luxemburg.

Société des Naturalistes Luxembourgeois.
Bulletins mensuels. Nouv. Sér. Année 1. 2. 6. 7. 1907–13.

Belgien.

Brüssel.

Académie royale des Sciences, des Lettres et des Beaux-Arts de Belgique.
Annuaire. Année 80. 1914.
Bulletins de la Classe des Sciences. 1913, N. 9–12. 1914, N. 1–4.
Bulletins de la Classe des Lettres et des Sciences morales et politiques et de la Classe des Beaux-Arts. 1913, N. 9–12. 1914, N. 1–4.
Mémoires. Sér. 2. Classe des Sciences. Collection in-8°. Tome 3, Fasc. 7. 8. 1914.
Biographie nationale. Tome 21, Fasc. 2. 1913.

Musée du Congo Belge.
Annales. Botanique. Sér. 4. Vol. 2, Fasc. 1. 1913.

Société des Bollandistes.
Analecta Bollandiana. Tom. 33, Fasc. 1–3. 1914.

Société entomologique de Belgique.
Annales. Tome 57. 1913.

Société royale zoologique et malacologique de Belgique.
Annales. Tome 47. 1912.

Gent.

Koninklijke Vlaamsche Academie voor Taal- en Letterkunde.

Uitgaven. Reeks II. Verslagen en Mededeelingen. 1913, Oct.–Dec. 1914, Jan.–Mei.

Vereeniging »Het Vlaamsch Natuur- en Geneeskundig Congres«.

Handelingen. Congres 17. 1913.

Lüttich.

Société géologique de Belgique.

Annales. Tome 39, Livr. 5. Tome 40, Livr. 3 und Annexe, Fasc. 3. Tome 41, Livr. 1. 1913–14.

Maredsous.

Revue Bénédictine. Année 31, N. 1–3. 1914.

Frankreich.

Aix-en-Provence.

Faculté de Droit.

Annales. Tome 6, N. 1. 2. 1912.

Faculté des Lettres.

Annales. Tome 6, N. 1. 2. 1912.

Angers.

Société d'Études scientifiques.

Bulletin. Nouv. Sér. Année 42. 43. 1912. 13.

Besançon.

Société d'Émulation du Doubs.

Mémoires. Sér. 8. Vol. 7. 1912.

Bordeaux.

Société de Géographie commerciale.

Revue de Géographie Commerciale. Année 39, Juin. Août–Déc. Année 40, Janv.–Avril. 1913. 14.

Caen.

Société Linnéenne de Normandie.

Bulletin. Sér. 6. Vol. 5. 6. 1912. 13.
Mémoires. Vol. 24, Fasc. 2. 1913.

Clermont-Ferrand.

Académie des Sciences, Belles-Lettres et Arts.

Bulletin historique et scientifique de l'Auvergne. Sér. 2. 1913.

Société des Amis de l'Université de Clermont.

Revue d'Auvergne. Année 29, Mars–Déc. Année 30. 1912. 13.

Douai.

Union géographique du Nord de la France.

Bulletin. Année 34, Trim. 3. 4. Année 35, Trim. 1. 2. 1913. 14.

Lyon.

Académie des Sciences, Belles-Lettres et Arts.

Mémoires. Sér. 3. Tome 14. 1914.

Société d'Agriculture, Sciences et Industrie.

Annales. 1912.

Université.

Annales. Nouv. Sér. I. Sciences, Médecine. Fasc. 34–36. — II. Droit, Lettres. Fasc. 26–28. 1912–13.

Montpellier.

Académie des Sciences et Lettres.

Bulletin mensuel. Tome 5, N. 8–12. Tome 6, N. 1–7. 1913. 14.

Nancy.

Académie de Stanislas.

Mémoires. Sér. 6. Tome 10. 1912–13.

Société des Sciences.

Bulletin des séances. Sér. 3. Tome 14. 1913.

Nantes.

Société des Sciences naturelles de l'Ouest de la France.

Bulletin. Sér. 3. Tome 3, Trim. 1. 2. 1913.

Paris.

Institut de France.

Annuaire. 1914.

Académie des Sciences.

Comptes rendus hebdomadaires des séances. Tome 155, Tables. Tome 157, N. 21–26. Tome 158, N. 1–26. Tome 159, N. 1–3. 1912–14.

Procès-verbaux des séances de l'Académie tenues depuis la fondation de

l'Institut jusqu'au mois d'août 1835. Tome 3. 4. Hendaye (Basses-Pyrénées) 1913.

Cauchy, Augustin. Oeuvres complètes. Publiées sous la direction scientifique de l'Académie des Sciences. Sér. 2. Tome 11. 1913.

Académie des Inscriptions et Belles-Lettres.
Comptes rendus des séances. 1913, Août –Déc. 1914, Janv.–Mars.

Académie de Médecine.
Bulletin. Sér. 3. Tome 69. 70, N. 36–42. Tome 71. 72, N. 1–28. 1913–14.
Rapport général sur les Vaccinations et Revaccinations pratiquées en France et aux colonies. 1912.

Comité des Travaux historiques et scientifiques.
Bulletin archéologique. Année 1912, Livr. 3. Année 1913, Livr. 1. 2.

École polytechnique.
Journal. Sér. 2. Cahier 17. 1913.

Musée Guimet.
Annales. Bibliothèque d'Art. Tome 5. 1912.
Annales. Bibliothèque d'Études. Tome 26. 27. 1914.

Muséum National d'Histoire naturelle.
Bulletin. Tome 18, N. 8. Tome 19, N. 1–6. 1912. 13.

Société asiatique.
Journal asiatique. Sér. 11. Tome 1, N. 2. 3. Tome 2. 1913.
Liste des membres. 1913–14.

Société de Géographie.
La Géographie. Bulletin de la Société. Tome 27, N. 6. Tome 28. Tome 29, N. 1–4. 1913–14.

Société géologique de France.
Bulletin. Sér. 4. Tome 12, N. 7. 8. Tome 13, N. 1–5. 1912. 13.

Société mathématique de France.
Bulletin. Tome 41, Fasc. 3. 4. Tome 42, Fasc. 1. 1913. 14.
Comptes rendus des séances. 1913.

Société philomathique.
Bulletin. Sér. 10. Tome 5, N. 1–4. 1913.

Société zoologique de France.
Bulletin. Vol. 38. 1913.

Mémoires. Tome 26. 1913.

Annales des Mines. Sér. 11. Tome 3. 4, Livr. 9–12. Tome 5. 6, Livr. 1–5. 1913–14.

Annales des Ponts et Chaussées. Sér. 9. Partie 1, Tome 18–21. Partie 2, Tome 3, Vol. 6. Tome 4, Vol. 1–3. 1913–14.

La Feuille des jeunes Naturalistes. Année 43. N. 516. Année 44. N. 517–524. 1913. 14.

Polybiblion. Revue bibliographique universelle. Sér. 2. Partie littéraire. Tome 78, Livr. 5. 6. Tome 79. — Partie technique. Tome 39, Livr. 11. 12. Tome 40, Livr. 1–6. 1913–14.

Revue historique. Tome 115. 116. 1914.

Poitiers.

Société des Antiquaires de l'Ouest.
Bulletins. Sér. 3. Tome 3, N. 3. 4. 1913.

Rennes.

Faculté des Lettres.
Annales de Bretagne. Tome 28, N. 4. Tome 29, N. 1. 2. 1913–14.

Société scientifique et médicale de l'Ouest.
Bulletin. Tome 22. 1913.

Rouen.

Académie des Sciences, Belles-Lettres et Arts.
Précis analytique des travaux. Année 1911–12.

Solesmes.

Paléographie Musicale. Publiée sous la direction de Dom André Mocquereau, Moine de Solesmes. Année 25, N. 100–102. 1913–14.

Toulouse.

Université.
Annales du Midi. Année 25, N. 99. 100. Année 26, N. 101. 1913. 14.

Darboux, Gaston. Leçons sur la théorie générale des surfaces. 2. édition. Partie 1. Paris 1914.

Foucart, Paul. Les mystères d'Éleusis. Paris 1914.

Le Chatelier, Henry. La silice et les silicates. Paris 1914.

Perrot, Georges, et Chipiez, Charles. Histoire de l'art dans l'antiquité. Tome 10. Paris 1914.

École Française d'Extrême-Orient, Hanoi.
Bulletin. Tome 12, N. 7. 8. Tome 13, N. 3–7. Tome 14, N. 1. 1912–14.
Publications. Vol. 16. 17. Paris 1913. 14.

Italien.

Bologna.

Reale Accademia delle Scienze dell' Istituto.
Memorie. Classe di Scienze morali. Ser. 1. Tomo 7: Sezione di Scienze storico-filologiche und Sezione di Scienze giuridiche. 1912–13.
Rendiconto delle sessioni. Classe di Scienze morali. Ser. 1. Vol. 6. 1912–13.

Brescia.

Ateneo di Scienze, Lettere ed Arti.
Commentari. 1913. Indice degli Indici 1808–1907.

Catania.

Accademia Gioenia di Scienze naturali.
Atti. Ser. 5. Vol. 6. 1913.
Bollettino delle sedute. Ser. 2. Fasc. 28–31. 1913–14.

Florenz.

Biblioteca Nazionale Centrale.
Bollettino delle Pubblicazioni Italiane. N. 156–166. 1913–14. Indice 1913.

Genua.

Regio Comitato talassografico Italiano.
Bollettino bimestrale. N. 24–26. Venezia 1913–14.

Società di Letture e Conversazioni scientifiche.
Rivista Ligure di Scienze, Lettere ed Arti. Anno 40, Fasc. 5. 6. Anno 41, Fasc. 1–3. 1913. 14.

Mailand.

Reale Istituto Lombardo di Scienze e Lettere.
Memorie. Classe di Scienze matematiche e naturali. Vol. 21, Fasc. 6. — Classe di Lettere e Scienze morali e storiche. Vol. 23, Fasc. 1. 1914.
Rendiconti. Ser. 2. Vol. 46, Fasc. 16–20. Vol. 47, Fasc. 1–13. 1913. 14.

Atti della Fondazione scientifica Cagnola. Vol. 23. 1908–12.

Modena.

Reale Accademia di Scienze, Lettere ed Arti.
Memorie. Ser. 3. Vol. 10, Parte 2. 1913.

Neapel.

Accademia Pontaniana.
Atti. Vol. 43. 1913.

Società Reale.
Accademia delle Scienze fisiche e matematiche.
Atti. Ser. 2. Vol. 15. 1914.
Rendiconto. Ser. 3. Vol. 19, Fasc. 6–12. Vol. 20, Fasc. 1–6. 1913. 14.
Accademia di Archeologia, Lettere e Belle Arti.
Atti. Nuova Ser. Vol. 2. 1913.
Memorie. Vol. 2. 1913.
Rendiconto delle tornate e dei lavori. Nuova Ser. Anno 25–27. 1911–13.

Padua.

Accademia scientifica Veneto-Trentino-Istriana.
Atti. Ser. 3. Vol. 6. 1913.

Palermo.

Circolo matematico.
Annuario biografico. 1914.
Indici delle pubblicazioni. N. 5. 1914.
Rendiconti. Tomo 36, Fasc. 3. Tomo 37. Tomo 38, Fasc. 1. Supplemento: Vol. 8, N. 5. 6. Vol. 9, N. 1–4. 1913–14.

Società di Scienze naturali ed economiche.
Giornale di Scienze naturali ed economiche. Vol. 30. 1914.

Perugia.

Università degli Studi.
Annali della Facoltà di Medicina. Ser. 4. Vol. 3, Fasc. 4. Vol. 4, Fasc. 1. 1913. 14.

Pisa.

Società Toscana di Scienze naturali.
Atti. Memorie. Vol. 29. 1913. — Processi verbali. Vol. 22, N. 3–5. Vol. 23, N. 1. 2. 1913. 14.

Rom.

Pontificia Accademia Romana dei Nuovi Lincei.
Atti. Anno 67, Sess. 1–3. 1913–14.
Memorie. Vol. 31. 1913.

Reale Accademia dei Lincei.
Annuario. 1914.
Atti. Ser. 5.
Memorie. Classe di Scienze fisiche, matematiche e naturali. Vol. 9, Fasc. 15–17. Vol. 10, Fasc. 1–5. 1913–14.
Notizie degli Scavi di Antichità. Vol. 10, Fasc. 4–12. 1913.
Rendiconti. Classe di Scienze fisiche, matematiche e naturali. Vol. 22, Sem. 2, Fasc. 9–12. Vol. 23, Sem. 1. Sem. 2, Fasc. 1. — Classe di Scienze morali, storiche e filologiche. Vol. 22, Fasc. 7–12. Vol. 23, Fasc. 1. 2. 1913–14.

Società Italiana per il Progresso delle Scienze.
Atti. Riunione 7. 1913.

Società Italiana delle Scienze (detta dei XL).
Memorie di Matematica e di Scienze fisiche e naturali. Ser. 3. Tomo 18. 1913.

Reale Società Romana di Storia patria.
Archivio. Vol. 36, Fasc. 3. 4. Vol. 37, Fasc. 1. 2. 1913. 14.

Turin.

Reale Accademia d'Agricoltura.
Annali. Vol. 56. 1913.

Reale Accademia delle Scienze.
Atti. Vol. 49, Disp. 1–7. 1913–14.

Verona.

Accademia d'Agricoltura, Scienze e Lettere.
Atti e Memorie. Ser. 4. Vol. 13 nebst Appendice. 1913.

Spanien und Portugal.

Barcelona.

Real Academia de Ciencias y Artes.
Año académico 1913–14.
Boletin. Época 3. Tomo 3, N. 5. 1914.
Memorias. Época 3. Tomo 10, N. 24–30. Tomo 11, N. 1–11. 1913–14.

Institut d'Estudis Catalans.
Anuari. Any 4. 1911–12.
March, Auzias. Les obres. Edició crítica per Amadeu Pagès. Vol. 2. 1914.

Madrid.

Real Academia de Ciencias exactas, físicas y naturales.
Annario. 1914.
Memorias. Tomo 15, Supl. 2. 1913.
Revista. Tomo 11, N. 11. 12. Tomo 12, N. 1–7. 1913–14.

Real Academia de la Historia.
Boletin. Tomo 63, Cuad. 6. Tomo 64. 1913–14.

Sociedad Española de Física y Química.
Anales. Tomo 11, N. 107. 108. Tomo 12, N. 109–114. 1913. 14.

Lissabon.

Instituto bacteriológico Camara Pestana.
Arquivos. Tome 4, Fasc. 2. 1914.

Russland.

Dorpat.

Naturforscher-Gesellschaft.
Sitzungsberichte. Bd. 22, Heft 1. 2. 1913.

Helsingfors.

Finnische Akademie der Wissenschaften.
Annales. Ser. A. Tom. 4. Ser. B. Tom. 7, 12, 1. 13. 1913–14.
Sitzungsberichte. 1911.
FF Communications. Edited for the Folklore Fellows. N. 1–12. 1910–13.

Gesellschaft zur Erforschung der Geographie Finlands.
Fennia. Bulletin de la Société de Géographie de Finlande. 33. 34. 1912–14.

Finländische Gesellschaft der Wissenschaften.
Acta. Tom. 38, N. 2. Tom. 41, N. 9. Tom. 42, N. 4 und Minnestal Freudenthal. Tom. 43, N. 2. 3. Tom. 44, N. 1. 2. 4. 6. Tom. 45, N. 1. 1913–14.
Bidrag till Kännedom af Finlands Natur och Folk. Häftet 76, N. 2–5. 1914.
Öfversigt af Förhandlingar. 55. 1912–13.
Finländische hydrographisch-biologische Untersuchungen. N. 12. 1913.
Meteorologische Zentralanstalt.
Meteorologisches Jahrbuch für Finnland. Bd. 6. Beilage. Bd. 8, Tl. 2. Bd. 10, Tl. 1. Bd. 11, Tl. 2. 1906–11.

Societas pro Fauna et Flora Fennica.
Acta. Vol. 37. 38. 1912–14.
Meddelanden. Häftet 39. 1912–13.

Jekaterinburg.

Uralische Gesellschaft von Freunden der Naturwissenschaften.
Bulletin. Tome 33. Tome 34, Livr. 1. 2. 1914.

Moskau.

Société impériale des Naturalistes.
Bulletin. Nouv. Sér. Tome 27, N. 1–3. 1913.

St. Petersburg.

Kaiserliche Akademie der Wissenschaften.
Bulletin. Sér. 6. Tome 7, N. 16–18. Tome 8, N. 1–11. 1913. 14.
Mémoires. Sér. 8. Classe physico-mathématique. Tome 26, N. 4. Tome 28, N. 3. Tome 29, N. 6. Tome 31, N. 2. 4. 6–9. Tome 32, N. 1. — Classe historico-philologique. Tome 12, N. 1. 1912–13.
Βυζαντινὰ Χρονικά. Τόμος 18. *Τόμος* 20, *Τεῦχος* 4. 1911. 13.
Christianskij Vostok. Tom 2, Vyp. 2. 1913.
Otdělenie russkago jazyka i slovesnosti. Izvěstija. Tom 18, Knižka 3. 4. 1913.
Anthropologisch-Ethnographisches Museum.
Publications. N. 13–16. 1912–13.
Botanisches Museum.
Travaux. Vyp. 11. 1913.
Geologisches Museum Peters des Großen.
Travaux. Tome 7, Livr. 4. 1913.
Zoologisches Museum.
Annuaire. Tome 18, N. 3. 1913.
Permanente Seismische Zentral-Kommission.
Comptes rendus des séances. Tome 5, Livr. 3. Tome 6, Livr. 1. 1913.
Bibliotheca Buddhica. XVII, Fasc. 1. 2. 1913.
Latyšev, Basilius. Menologii anonymi Byzantini saeculi X quae supersunt. Fasc. 2. 1912.

Riga.

Naturforscher-Verein.
Korrespondenzblatt. 56. 1913.

Warschau.

Gesellschaft der Wissenschaften.
Prace. II. Wydział nauk antropologicznych, społecznych, historyi i filozofii. N. 10. — III. Wydział nauk matematycznych i przyrodniczych. N. 4–6. 1913.
Sprawozdania. Rok 6, Zeszyt 1–6. 1913.

Rostovcev, M. Antičnaja dekorativnaja živopiś na iugě Rossii. Tekst. T. 1. Atlas. S.-Peterburg 1914. 13.

Rumänien.

Bukarest.

Societatea Română de Ştiinţe.
Buletinul. Anul 22, N. 4–6. Anul 23, N. 1. 2. 1913. 14.

Griechenland.

Athen.

Ἐπιστημονικὴ Ἑταιρεία.
Ἀθηνᾶ. Σύγγραμμα περιοδικόν. Τόμος 25. Τόμος 26, Τεῦχος 1. 2. 1913. 14.

Vereinigte Staaten von Nord-Amerika.

Albany, N. Y.

The Astronomical Journal. N. 656–668. 1913–14.

Baltimore.

Johns Hopkins University.
American Chemical Journal. Vol. 50, N. 2–6. 1913.
American Journal of Mathematics. Vol. 35, N. 4. Vol. 36, N. 1. 1913. 14.
The American Journal of Philology. Vol. 34, N. 3. 4. 1913.

Berkeley.

Academy of Pacific Coast History.
Publications. Vol. 3, N. 2. 1913.

University of California.
Lick Observatory, Mount Hamilton. Bulletin. N. 246–249. 1913.

Boston.

American Academy of Arts and Sciences.
Proceedings. Vol. 49, N. 11. Vol. 50, N. 1–3. 1914.

American Philological Association.
Transactions and Proceedings. Vol. 43. 1912.

Charlottesville, Va.

Philosophical Society of the University of Virginia.
Bulletin. Scientific Series. Vol. 1, N. 16–18. 1913–14.
Proceedings. 1911–12. (Forts.).

Chicago.

Field Museum of Natural History.
Publications. N. 169–176. 1913–14.

University of Chicago.
The Botanical Gazette. Vol. 56, N. 5. 6. Vol. 57. Vol. 58, N. 1. 2. 1913–14.
The Astrophysical Journal. Vol. 38, N. 4. 5. Vol. 39. Vol. 40, N. 1. 1913–14.
The Journal of Geology. Vol. 21, N. 8. Vol. 22, N. 1–5. 1913. 14.

Easton, Pa.

American Chemical Society.
Journal. Vol. 35, N. 12. Vol. 36, N. 1–8. 1913. 14.

Ithaca, N. Y.

American Physical Society.
The Physical Review. Ser. 2. Vol. 2, N. 6. Vol. 3. Vol. 4, N. 1–4. 1913–14.

The Journal of Physical Chemistry. Vol. 17, N. 9. Vol. 18, N. 1–6. 1913. 14.

Milwaukee.

Wisconsin Natural History Society.
Bulletin. New Ser. Vol. 11. 1913.

New Haven.

American Oriental Society.
Journal. Vol. 33, Part 3. 4. 1913.

The American Journal of Science. Ser. 4. Vol. 36, N. 216. Vol. 37, N. 217–222. Vol. 38, N. 223–227. 1913–14.

New York.

Academy of Sciences.
Annals. Vol. 23, S. 1–144. 1913.

American Mathematical Society.
Bulletin. Vol. 20, N. 3–10. 1913–14.
Transactions. Vol. 15, N. 1–3. 1914.

The American Naturalist. Vol. 47, N. 564. Vol. 48, N. 565–575. 1913. 14.

Norwood, Mass.

Bulletin of the Archaeological Institute of America. Vol. 4, N. 1–3. 1913.

American Journal of Archaeology. Ser. 2. The Journal of the Archaeological Institute of America. Vol. 17, N. 4. Vol. 18, N. 1–3. 1913. 14.

Philadelphia.

Academy of Natural Sciences.
Proceedings. Vol. 65, Part 3. Vol. 66, Part 1. 1913. 14.

American Philosophical Society.
Proceedings. Vol. 52, N. 211. 212. 1913.

Saint Louis.

Academy of Science.
Transactions. Vol. 19, N. 11. Vol. 20. 21. Vol. 22, N. 1–3. 1910–13.

San Francisco.

California Academy of Sciences.
Proceedings. Ser. 4. Vol. 2, Part 1, S. 1–202. Vol. 3, S. 265–454. Vol. 4, S. 1–13. 1913–14.

Washington.

Carnegie Institution of Washington.
Publications. N. 90 B. 163. 172. 182. 184. 187. 188. 191. 192. 194–196. 1913–14.
Year Book. N. 12. 1913.

Smithsonian Institution.
Smithsonian Miscellaneous Collections. Vol. 57, N. 13. Vol. 61, N. 1. 15–25. Vol. 62, N. 2. Vol. 63, N. 2–5. Vol. 64, N. 1. 1913–14.
Annual Report of the Board of Regents. 1912.
Harriman Alaska Series. Vol. 14, Part 1. 2. 1914.
Bureau of American Ethnology.
Bulletin. N. 56. 1914.

United States National Museum.
Bulletin. N. 50, Part 6. 71, Part 3. 4. 80. 83–87. 1913–14.
Contributions from the United States National Herbarium. Vol. 16, Part 10. 11. 13. Vol. 17, Part 4. 5. Vol. 18, Part 1. 2. 1913–14.
Proceedings. Vol. 45. 46. 1913. 14.
Report on the Progress and Condition. 1913.

United States Department of Agriculture.
Bulletin. N. 2. 4. 7. 9–21. 24–32. 34–50. 52–60. 62–73. 75–79. 81–93. 95. 97. 99. 103. 109. 116. 121. 1913–14.
Farmers' Bulletin. N. 543. 551. 552. 555–557. 559–588. 590. 592–599. 601. 604. 1913–14.
Journal of Agricultural Research. Vol. 1. Vol. 2, N. 1–4. 1913–14.
Report of the Secretary of Agriculture. 1913.
Yearbook. 1913.
Bureau of Biological Survey.
North American Fauna. N. 36. 1914.
Bureau of Chemistry.
Bulletin. N. 162. 1913.
Bureau of Entomology.
Bulletin. New Ser. N. 123–126. 1913–14.
Bulletin, Technical Series. N. 26. 1914.
Bureau of Plant Industry.
Bulletin. N. 284. 285. 1913.
Library.
Monthly Bulletin. Vol. 4, N. 6. 1913.
Office of Experiment Stations.
Experiment Station Record. Vol. 29, N. 4–9 und Index Number. Vol. 30, N. 1–8. 1913. 14.
Annual Report. 1912.

Mittel- und Süd-Amerika.

Mexico.

Museo Nacional de Arqueologia, Historia y Etnologia.
Anales. Tomo 3, N. 8. Tomo 5, N. 2. 3. 1912–13.

Sociedad cientifica «Antonio Alzate».
Memorias y Revista. Tomo 32, N. 7–10. Tomo 33, N. 1–10. 1913–14.

Sociedad Mexicana de Geografia y Estadistica.
Boletin. Época 5. Tomo 6, N. 8–10. 1913.

Buenos Aires.

Museo Nacional de Historia natural.
Anales. Tomo 24. 25. 1913. 14.

Córdoba (República Argentina).

Academia Nacional de Ciencias.

Boletin. Tomo 19, Entr. 1. 1911.

Pará.

Museu Goeldi (Museu Paraense) de Historia natural e Ethnographia.

Boletim. Tomo 7. 8. 1910–12.

Japan.

Sendai.

Universität.

The Tôhoku Mathematical Journal. Vol. 4, N. 3. 4. Vol. 5. 1913–14.

Tokyo.

Kaiserliche Akademie.

Memoirs. Section 2. Vol. 1, N. 1. 1913.

Proceedings. Vol. 1, N. 3. 1913.

Deutsche Gesellschaft für Natur- und Völkerkunde Ostasiens.

Mitteilungen. Bd. 15. Tl. A. 1913.

Zoologische Gesellschaft.

Annotationes zoologicae Japonenses. Vol. 8. Part 3. 4. 1914.

Universität.

The Journal of the College of Science. Vol. 32, Art. 11. 12. Vol. 33, Art. 2. Vol. 34, Art. 2. Vol. 35, Art. 1. 2. 4–6. Vol. 36, Art. 1–4. General Index to Vols. 1–25 (1887–1908). 1913–14.

Syrien.

Beirut.

Université Saint-Joseph.

Mélanges de la Faculté orientale. Tome 6. 1913.

Durch Ankauf wurden erworben:

Athen. Ἀρχαιολογικὴ Ἑταιρεία. Ἀρχαιολογικὴ Ἐφημερίς. Περίοδος 3. 1913, Τεῦχος 3. 4.

Berlin. Journal für die reine und angewandte Mathematik. Bd. 144. Bd. 145, Heft 1. 2. 1914.

Dresden. Hedwigia. Organ für Kryptogamenkunde. Bd. 54, Heft 3–6. Bd. 55, Heft 1–5. 1913–14.

Göttingen. Königliche Gesellschaft der Wissenschaften. Göttingische gelehrte Anzeigen. Jahrg. 175, N. 11. 12. Jahrg. 176, N. 1–10. Berlin 1913. 14.

Leipzig. Hinrichs' Halbjahrs-Katalog der im deutschen Buchhandel erschienenen Bücher, Zeitschriften, Landkarten usw. 1913, Halbj. 1. 2. 1914, Halbj. 1.

———. Hinrichs' Katalog der im deutschen Buchhandel erschienenen Bücher, Zeitschriften, Landkarten usw. Bd. 13. 1910–12. Tl. 1, Hälfte 1. 2. Tl. 2.

———. Literarisches Zentralblatt für Deutschland. Jahrg. 64, N. 48–52. Jahrg. 65, N. 1–47. 1913. 14.

London. The Annals and Magazine of Natural History. Ser. 8. Vol. 12, N. 72. Vol. 13, N. 73–78. Vol. 14, N. 79. 1913–14.

Paris. Annales de Chimie et de Physique. Sér. 8. Tome 30, Déc. 1913.

———. Annales de Chimie. Tome 1. Tome 2, Juillet. 1914.

———. Annales de Physique. Tome 1. Tome 2, Juillet. 1914.

———. Revue archéologique. Sér. 4. Tome 22. 23. 1913. 14.

Straßburg i. E. Minerva. Jahrbuch der gelehrten Welt. Jahrg. 23. 1913–14.

Stuttgart. Litterarischer Verein. Bibliothek. Bd. 259–261. Tübingen 1913.

Festschrift für Heinrich Brunner zum fünfzigjährigen Doktorjubiläum am 8. April 1914 überreicht von der Juristenfakultät der Universität Berlin. München und Leipzig 1914.

Grimm, Jacob, und Grimm, Wilhelm. Deutsches Wörterbuch. Bd. 4, Abth. 1, Th. 4, Lief. 3. Bd. 4, Abth. 1, Th. 6, Lief. 1. Bd. 10, Abth. 3, Lief. 1. Bd. 11, Abth. 2, Lief. 1. Bd. 11, Abth. 3, Lief. 3. Bd. 12, Abth. 1, Lief. 11. Bd. 14, Abth. 1, Lief. 3. Bd. 16, Lief. 1. Leipzig 1913–14.

Kehr, Paul Fridolin. Regesta pontificum Romanorum. Italia pontificia. Vol. 6, Pars 2. Berolini 1914.

Deutsche Reichstagsakten. Bd. 1–12. 13, Hälfte 1. 15. Jüngere Reihe, Bd. 1–4. München, später Gotha 1867–1914.

Rerum Italicarum scriptores. Raccolta degli storici italiani dal cinquecento al millecinquecento ordinata da L. A. Muratori. Nuova edizione. Fasc. 117–122. Città di Castello 1913.

NAMENREGISTER.

SACHREGISTER.

Ausgegeben am 7. Januar 1915.

Berlin, gedruckt in der Reichsdruckerei.

